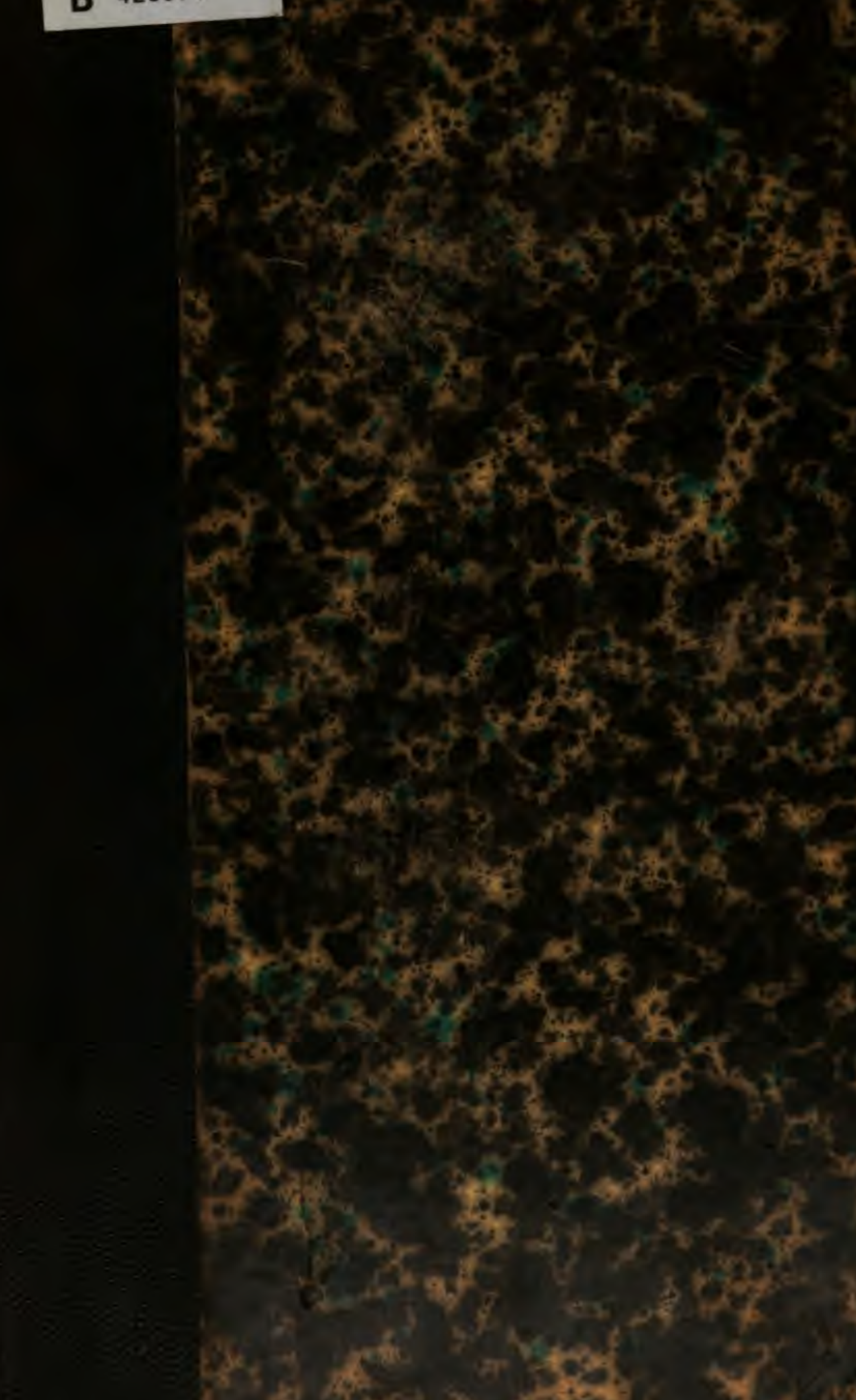



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

ANNÉE 1884

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNEÉ 1884

DEUXIÈME VOLUME

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

—

1884

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JUILLET 1884

N° 7

Pendant le mois de juillet la Société a traité les questions suivantes :

1° *Machines de filature*, lettre de M. Jantot. (Séances des 4 et 18 juillet pages 9 et 26.)

2° *Appareil enregistreur et dynamométrique pour les constructions* présenté par M. Seyrig. (Séance du 4 juillet page 10.)

3° *Accumulateurs électriques*, par M. Reynier. (Séance du 4 juillet pages 15 et 43.)

4° *Chemin de fer à rail unique surélevé* système Lartigue suivie d'une application faite par M. Boistel, pour la traction par l'électricité. (Séance du 4 juillet, page 16.)

5° *Carte géologique de la France*, par M. de Cossigny. (Séance du 18 juillet page 27.)

6° *Magasins généraux de la Seine à Bercy-Conflans*, par M. Deharme. (Séance du 18 juillet page 32.)

Pendant le mois de juillet la Société a reçu :

De M. l'amiral Pâris, 1° un exemplaire de son ouvrage le *Musée de*

marine du Louvre; 2° un exemplaire de sa collection de *Plans ou dessins de navires et de bateaux anciens ou modernes existants ou disparus.*

De M. Deghilage, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur les *Locomotives des grandes Compagnies de chemin de fer français de* 1878 *à* 1884.

De M. Duroy de Bruignac, membre de la Société, un mémoire sur l'*Effet d'une force.*

De la Préfecture de la Seine, divers documents sur la question de *Tout à l'égout.*

De M. Reynier, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur les *Piles électriques et accumulateurs.*

De M. de Baère, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Avertisseurs électro-mécaniques dits Réveils électro-léthargiques.*

De M. Poulot, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage *Question sociale le Sublime, ou le travailleur comme il est en* 1870 *et ce qu'il peut être.*

De M. Eugène Divort, 1° un exemplaire de son projet d'*Horaire pour la marche des trains, à organiser en Europe;* 2° un exemplaire de son projet d'*Organisation de services à grande vitesse à travers l'Europe de trains rapides.*

De M. Jantot, membre de la Société, des *Photographies de diverses machines pour filature et tissage construites dans ses ateliers.*

De M. Robert H. Thurston, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *The Matérials of Engineering in three parts.* — *III part., New-Ferrous Metals ands alloys: copper; tin, zinc w. brass; bronze,* etc.

De M. Émile Barrault membre de la Société : 1° *Code des Chemins de fer*, par M. A. Cerclet, 1845; 2° *Chemins de fer d'Angleterre*, par M. Bineau, 1840; 3° *Travaux Publics en Belgique*, 1839, par M. Ed. Teisserenc; 4° *Politique des Chemins de fer*, 1842, par M. Ed. Teisserenc, 5° *Construction des Tunnels de Bleckingley* et de *Saltwood;* par M. Eug. Sartin, 1844; 6° *Expédition du Louxor*, par Angelin, 1833; 7° *Algèbre selon les vrais principes;* 8° *Gin Blid in das Nil Duell'land*, 1844, par Ritter; 9° *L'Algérie; Des moyens de conserver et d'utiliser cette conquête*, par le général Bugeaud, 1842; 10° *Percement de l'Isthme de Suez*, par M. Ferdinand de Lesseps, 1855; 11° *Canal*

maritime de Paris à Rouen, avec une dédicace autographe, par M. Stéphane Flachat.

De M. Alfred Cottrau, membre de la Société, des exemplaires d'une description sommaire d'applications diverses de son système de *Ponts polytétragonaux portatifs de portée, largeur et résistance variable.*

Du Ministère des Travaux Publics, un exemplaire du *recensement de la circulation sur les routes nationales en* 1882. Texte et Atlas.

De M. M. L. E. Corthell C. E., ingénieur, un exemplaire de son ouvrage intitulé *History of the Jetties at the Mouth of the Mississipi River.*

De M. Servier, membre de la Société : 1° un exemplaire de son rapport sur le *bec à récupérateur* de M. J. Schulk ; 2° un exemplaire de son rapport sur la *lampe Clamond à incandescence par le gaz à simple tirage sans courant d'air forcé ;* 3° un exemplaire de son rapport de la *recherche des fuites dans les canalisations de gaz* par le siphon isolateur de M. Ch. Gibault.

De M. Édouard Simon, membre de la Société, un exemplaire du rapport général présenté par M. Edouard Widmer, ingénieur des ponts et chaussées à la commission d'Étude de l'*assainissement du Havre.*

De M. Félix Papouot, ingénieur, un exemplaire de son ouvrage sur *l'Égypte, son avenir agricole et financier.*

De M. le docteur Calliburcès un exemplaire de son mémoire sur les recherches expérimentales sur *l'influence du traitement pneumatique sur la fermentation des jus sucrés.*

De M. Cassagnes, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur la *Sténo-Télégraphie.*

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Dwelshauvers Dery,	présenté par	MM. Chuwab, Peligot et Périssé.
Henry	—	De Comberousse, Denis et Gottschalk.
Robin	—	Jordan, Michaux et Wurgler.
Renault	—	Avisse, Brüll et Ivan Flachat.
Thézard	—	Carimantrand, Mallet et Marché.

marine du Louvre ; 2° un exemplaire de sa collection de Plans ou dessins de navires et de bateaux anciens ou modernes existants ou disparus.

De M. Deghilage, membre de la Société, un exemplaire de ... ouvrage sur les *Locomotives des grandes Compagnies de chemin de fer français de 1878 à 1884.*

De M. Duroy de Bruignac, membre de la Société, un mémoi... l'*Effet d'une force.*

De la Préfecture de la Seine, divers documents sur la ques... *Tout à l'égout.*

De M. Reynier, membre de la Société, un exemplaire de so... sur les *Piles électriques et accumulateurs.*

De M. de Baère, membre de la Société, un exemplaire de s... les *Avertisseurs électro-mécaniques dits Réveils électro-...*

De M. Poulot, membre de la Société, un exemplaire de... *Question sociale le Sublime, ou le travailleur comme il ... ce qu'il peut être.*

De M. Eugène Divort, 1° un exemplaire de son projet ... *la marche des trains, à organiser en Europe* ; 2° un ex... projet d'*Organisation de services à grande vitesse à ... de trains rapides.*

De M. Jantot, membre de la Société, des *Photogr...* *machines pour filature et tissage construites dans ...*

De M. Robert H. Thurston, membre de la Soc... son ouvrage intitulé : *The Matérials of Engine... III part., New-Ferrous Metals ands alloys* : ... *bronze*, etc.

De M. Émile Barrault membre de la S... *de fer*, par M. A. Cerclet, 1845 ; 2° ... M. Bineau, 1840 ; 3° *Travaux Pub...* Teisserenc ; 4° *Politique des C...* renc, 5° *Constr...* M. Eug. ... 7° *Algé...*

...ot.
...ne de n'avoir pas
...z tôt pour assister
... de la situation des
...dailles; malheureu-
... ils sont allés visiter
... fabrication de l'acier;
...ont la Société profitera
... voir faire sur ce sujet.
...i. Husquin de Rhéville a
...y a rien perdu; elle a voté
...ts auxquels nous nous asso-

... de Comberousse d'avoir bien

...é a perdu le seul membre hono-
...B. Damas; le Comité a pensé qu'il y
... de nommer comme membres hono-

...s, et M. l'amiral
a constam-
...ui a toujours
...de lui en offrir
bureau.
... comme membres
...ur leur admission
...ire le 1er août pro-

...tot :

... du compte rendu de la
... l'aurais désiré, vous en-
l'honneur de vous adresser
...ien, si vous le jugez conve-

...ion que j'ai lu dans le compte
... nos collègues dans la discussion
...tion des machines de filature.
...t, que M. Bonjean n'ait pas acheté en
...uit plus.
...ée en séance des ingénieurs civils et en
...titiée qui s'attache au nom de notre hono-
...ortance toute particulière et ne pourrait que
...onséquences pour l'avenir des ateliers de con-
...ature existant encore en France.
...r de dire que l'on ne construit plus dans notre
...ture. On n'en construit plus beaucoup, il est vrai,
...truit et même on les construit toutes.
...des machines de filature en France est sans contredit
...éprouvée de toutes nos industries nationales similaires;
...avec courage contre la concurrence étrangère (courage trop
...s ! récompensé); et le plus terrible ennemi qu'elle ait à com-
...pas toujours le bon marché et la bonne exécution des appareils,
...souvent la routine et le parti pris qui font croire que la France ne
...s produire le matériel de filature.

...n ce qui nous concerne particulièrement et pour ne parler que de
...s, nous construisons toutes les machines pour la filature du coton, de
...a laine cardée, de la laine peignée ainsi que tous les apprêts de tissage et
les métiers à tisser. Comme preuve à l'appui, j'ai pris la liberté d'adresser
à la Société les photographies d'un certain nombre de nos machines pour
filature et tissage.

« Je n'ai pas assurément la prétention de mettre nos modestes ateliers
en parallèle avec les puissantes maisons d'Angleterre et d'Alsace, mais les

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUILLET 1884

Séance du 4 Juillet 1884.

Présidence de M. Louis Martin.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juin est adopté.

M. le Président annonce le décès de MM. Moll et Frichot.

M. le Président excuse le trésorier et s'excuse lui-même de n'avoir pas assisté à la dernière séance : ils espéraient revenir assez tôt pour assister à l'assemblée générale dans laquelle il est rendu compte de la situation des finances de la Société, et a lieu la distribution des médailles ; malheureusement, ils sont revenus trop tard d'Angleterre, où ils sont allés visiter les chemins de fer et diverses grandes usines pour la fabrication de l'acier ; ils y ont fait des observations très intéressantes dont la Société profitera sans doute par les communications qu'ils espèrent voir faire sur ce sujet.
En ce qui concerne l'absence du trésorier, M. Husquin de Rhéville a donné le compte rendu financier, et la Société n'y a rien perdu ; elle a voté à l'unanimité pour M. Loustau, des remerciements auxquels nous nous associons tous.
Quant à lui, M. le Président remercie M. de Comberousse d'avoir bien voulu le remplacer dans cette circonstance.

M. le Président rappelle que la Société a perdu le seul membre honoraire français qu'elle possédait, M. J.-B. Dumas ; le Comité a pensé qu'il y avait lieu de le remplacer, et propose de nommer comme membres hono-

raires de la Société : M. Pasteur, de l'Académie des sciences, et M. l'amiral Pâris, également membre de l'Académie, savant distingué qui a constamment porté un vif intérêt à la Société des Ingénieurs civils ; il lui a toujours fait don de ses ouvrages très remarquables, et vient encore de lui en offrir une nouvelle collection qui sont déposés aujourd'hui sur le bureau.

En conséquence, le Comité présente ces deux personnes comme membres honoraires de la Société, et l'Assemblée aura à voter sur leur admission dans la seconde séance qui suivra celle-ci, c'est-à-dire le 1er août prochain.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. Jantot :

« Monsieur le Président,

« N'ayant pris que tardivement connaissance du compte rendu de la séance du 6 juin dernier je n'ai pu, ainsi que je l'aurais désiré, vous envoyer pour la réunion du 20, la lettre que j'ai l'honneur de vous adresser aujourd'hui et dont je vous prie de vouloir bien, si vous le jugez convenable, donner lecture en séance.

« Ce n'est pas sans la plus pénible émotion que j'ai lu dans le compte rendu les paroles prononcées par l'un de nos collègues dans la discussion qui a eu lieu relativement à la construction des machines de filature.

« Il n'est pas étonnant, dit M. Noblot, que M. Bonjean n'ait pas acheté en France son matériel : on n'en construit plus.

« Une pareille assertion, formulée en séance des ingénieurs civils et en raison même de la notoriété si justifiée qui s'attache au nom de notre honorable collègue, acquiert une importance toute particulière et ne pourrait que produire les plus fâcheuses conséquences pour l'avenir des ateliers de construction de machines de filature existant encore en France.

« C'est une grave erreur de dire que l'on ne construit plus dans notre pays de machines de filature. On n'en construit plus beaucoup, il est vrai, mais enfin on en construit et même on les construit toutes.

« La construction des machines de filature en France est sans contredit la plus rudement éprouvée de toutes nos industries nationales similaires; mais elle lutte avec courage contre la concurrence étrangère (courage trop rarement, hélas ! récompensé); et le plus terrible ennemi qu'elle ait à combattre n'est pas toujours le bon marché et la bonne exécution des appareils, mais bien souvent la routine et le parti pris qui font croire que la France ne peut pas produire le matériel de filature.

« En ce qui nous concerne particulièrement et pour ne parler que de nous, nous construisons toutes les machines pour la filature du coton, de la laine cardée, de la laine peignée ainsi que tous les apprêts de tissage et les métiers à tisser. Comme preuve à l'appui, j'ai pris la liberté d'adresser à la Société les photographies d'un certain nombre de nos machines pour filature et tissage.

« Je n'ai pas assurément la prétention de mettre nos modestes ateliers en parallèle avec les puissantes maisons d'Angleterre et d'Alsace, mais les

gros ateliers seuls ont-ils le privilège de produire bon et vite? Je dois ajouter en outre que notre outillage nous permet d'entreprendre le montage complet d'un établissement d'une certaine importance, soit pour filature, soit pour tissage. Nous avons construit dans diverses contrées, en France et à l'étranger, au Brésil même (je cite ce pays puisque c'est à son sujet qu'est née la discussion qui nous occupe) des filatures importantes dont les produits ne le cèdent en rien à ceux obtenus dans les établissements pourvus exclusivement de machines étrangères.

« L'obligation dans laquelle, d'après M. Noblot, se trouvent les filateurs français, d'aller chercher leurs machines en Angleterre, n'a donc rien d'absolu. Si M. Noblot veut bien nous faire l'honneur de venir à Rouen visiter l'Exposition actuellement en cours, il verra en marche, et en excellente marche, toute la série des machines nécessaires pour la filature du coton et provenant *exclusivement d'ateliers français*. Que les industriels veuillent bien abandonner quelques-unes des préventions qu'ils ont l'habitude de manifester contre la construction française et réserver aux ateliers nationaux une partie des ordres qu'ils donnent à l'étranger et l'on verra bientôt nos usines françaises reconquérir cette vitalité et cette prospérité que l'on était heureux de signaler pour les établissements d'Alsace.

« Je prie nos collègues de vouloir bien excuser cette trop longue lettre, mais j'ai cru qu'il était de mon devoir de protester énergiquement contre une assertion émanant d'une Société française aussi autorisée que la nôtre et qui tendrait à rabaisser si bas l'une de nos industries nationales bien éprouvée, il est vrai, mais non encore complètement disparue.

« Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les plus respectueux et les plus dévoués.

« E. Jantot. »

M. le Président ajoute que c'est un sentiment patriotique qui a fait parler M. Jantot. Il faut espérer que notre industrie se relèvera de ses ruines et que les événements lui donneront pleinement raison. Il sera donné, du reste, satisfaction à M. Jantot, par l'insertion de sa réclamation au procès-verbal,

M. Seyrig présente le modèle d'un appareil enregistreur et dynamométrique pour les constructions.

C'est presque un lieu commun de rappeler l'importance croissante qu'a prise, dans les dernières vingt années, la construction métallique. L'extension donnée à ces constructions a conduit à des recherches approfondies, aussi bien sur la nature et la qualité des métaux employés, que sur les théories qui servent de base aux formes et aux dimensions que l'on donne aux objets à construire. Ces théories ont été poussées très loin, surtout à l'étranger, il faut en convenir, car en France nous en sommes encore le plus souvent à des types et à des méthodes anciennes. Peut-être même a-t-on parfois dépassé en quelque sorte la limite rationnelle, par suite de la difficulté, l'impossibilité même, où l'on se trouve de constater si la réalité dans l'exécution correspond aux prémisses du calcul.

J'explique ma pensée par un exemple. — Quand on calcule une poutre rivée en treillis, on part de l'une des deux hypothèses : ou bien on suppose qu'elle se comporte comme une poutre pleine et on se sert du moment d'inertie et de l'effort tranchant, malgré que la transmission des efforts intérieurs, d'une membrure à l'autre, ne se fasse nullement avec la continuité que suppose la théorie ; ou bien l'on suppose que toutes les attaches sont articulées aux points de rencontre, ce qui n'est pas davantage vrai. Malgré ces éléments d'erreur considérables, nous voyons souvent des projets critiqués, repoussés même, parce que le calcul, tel qu'on l'applique, donne des résultats trop forts d'une fraction de kilogramme par millimètre carré.

Cela étant, il semble donc qu'il y ait encore des progrès considérables à faire, et l'une des sources d'où pourra découler ce progrès, est certainement la connaissance exacte de ce qui se passe dans les constructions après qu'on les a établies avec tout le soin imaginable, et que la réalité les aura placées dans les conditions qu'a supposées le projet d'établissement. Dans quelle mesure les prévisions se réalisent-elles ? C'est là une question intéressante et très sérieuse au point de vue du progrès.

Pendant longtemps on a cherché à se rendre compte de ces résultats en observant les flèches que prenaient sous les charges, soit les poutres, soit les fermes, soit les arcs que l'on construisait. C'était mieux que rien, mais c'était un bien pauvre contrôle quand on songe que l'on observait en somme une seule résultante des efforts qui se produisaient dans des centaines ou des milliers de pièces de formes et de fonctions diverses, dont chacune avait sa part dans ce résultat final. Aussi demandait-on à pouvoir, avec des appareils spéciaux, constater les efforts qui se produisaient séparément dans chacun des éléments de la construction. M. Steiner, de Vienne, imagina une disposition qui devait, à l'aide du son que rendait un fil tendu contre les pièces, permettre de mesurer leurs efforts. Cet appareil n'eut point d'application, que nous sachions. M. Manet, alors ingénieur de la maison Cail, proposa un appareil mesurant l'allongement d'une partie de barre, et le faisant apercevoir sur un cadran analogue à celui d'un manomètre. M. Dupuy, dans des expériences faites au chemin de fer d'Orléans, employa un système de leviers et de cadrans reposant sur le même principe. Mais tous ces appareils avaient le défaut capital de ne point enregistrer les effets observés, et de plus, ne permettaient pas d'arriver à une exactitude telle qu'on devait la désirer pour suivre exactement ce qui se passait dans les pièces.

L'appareil que j'ai l'honneur de placer sous les yeux de la Société, répond à la plupart des exigences que l'on peut formuler, pour faire l'examen dont je viens de parler. Il est dû à M. le docteur Fraenkel, qui est professeur à l'École polytechnique de Dresde, et il a, depuis sa première construction, subi un certain nombre de modifications qui l'ont rendu sinon parfait, du moins capable de rendre de très grands services.

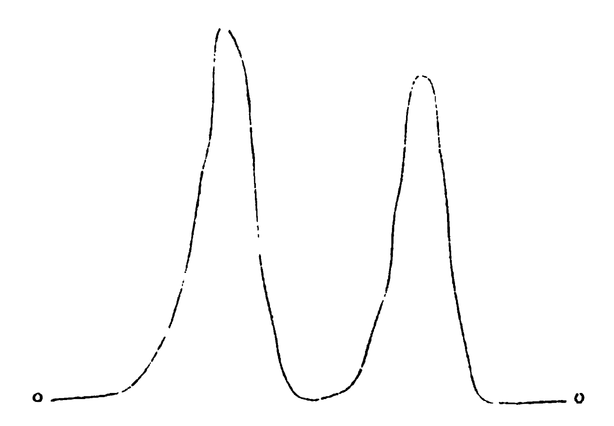
Le principe de l'appareil est le même que celui de M. Manet. Deux points fixes, pris sur la pièce qu'il s'agit d'examiner, sont pincés par des vis de pression, entre lesquels se trouve une tige creuse. Celle-ci est terminée par des boules d'acier, logées dans des coussinets de même métal, et serrées au moyen de vis de rappel. L'une d'elle entraîne une tige plus courte qui glisse dans le châssis principal de l'appareil sur lequel se trouve le papier enregistreur. Elle appuie contre une petite sphère qui est à l'extrémité d'un levier coudé, dont l'autre bras, beaucoup plus long, se termine par un secteur denté engrenant avec un pignon. Ce pignon porte sur son axe un bras de levier plus long, dont l'extrémité est en rapport avec un mouvement parallélogrammique, lequel fait mouvoir, en ligne droite, un crayon inscripteur. Ce crayon enfin se déplace en face d'un papier qui se déroule et qui reçoit l'inscription des moindres déplacements dus aux allongements et aux raccourcissements de la tige. Il serait trop long de décrire ici tous les organes de l'appareil ; il suffira de dire qu'il est muni d'un déclenchement qui permet de le mettre en mouvement soit à la main, soit électriquement, et qui permet également de marquer sur le papier des points spéciaux correspondants aux moments particulièrement intéressants d'une observation.

Ce qui est important dans un appareil semblable, c'est le degré de sensibilité qu'il présente. On se rendra compte du résultat obtenu en remarquant, sur les diagrammes, qu'on lit souvent, et facilement des mouvements d'un demi-millimètre. Or, le rapport des déplacements du crayon et de la tige principale étant de 1 à 169 (ce rapport varie quelque peu d'un instrument à un autre), on aperçoit de suite que l'évaluation d'une variation de longueur de $\frac{0.0005}{169} = 0^{m},000,003$ est facile. — Si l'on admet que le coefficient d'élasticité E du fer est en général de 20×10^{9}, on voit que cette longueur correspond à un effort de 60,000 kilogr. par mètre carré ou $0^{k}.06$ par millimètre carré. Nous croyons qu'une évaluation aussi précise donnera satisfaction aux expérimentateurs les plus minutieux.

Les variations de température produiront, elles aussi, des mouvements du style écrivant, par suite de l'allongement ou du raccourcissement de la tige principale. Si toutefois la variation de température est la même dans la pièce sur laquelle on expérimente et dans la tige, cet effet sera nul, les pièces de l'appareil enregistreur ayant des dimensions très faibles. Mais afin de s'affranchir de cette cause d'incertitude, toutes les indications d'une même expérience sont rapportées à un axe, qui se trouve tracé sur le papier, par un crayon fixe. De cette façon on est sûr d'avoir des observations comparables entre le commencement et la fin d'une expérience.

Pour faire apprécier la valeur de cet instrument, il est bon de résumer ici quelques-uns des résultats déjà obtenus par son moyen dans diverses séries d'expériences faites par son auteur. Elles sont nombreuses, et nous nous bornons à en citer quelques-unes.

Un pont de 21 mètres d'ouverture, à voie inférieure et poutres à grands treillis fut examiné pour sa membrure supérieure. Celle-ci en forme de



Efforts dans un patin de rail Vignols sous le passage d'un wagon à marchandises.
1 millimètre d'ordonnée représente un effort de 0 k,13 par millim. carré.

simple T, de 352 millimètres de largeur et 350 millimètres de hauteur ne devrait, d'après la théorie, être que comprimée. Des appareils appliqués des deux côtés de la membrure indiquèrent des différences notables, l'un donnant le double de l'autre. On reconnut que la différence tenait à une courbure convexe vers l'axe du pont, ce à quoi on pouvait d'ailleurs s'attendre; mais l'écart d'avec la compression moyenne s'élève jusqu'à 26 pour 100, chiffre considérable. Un troisième appareil appliqué au bord inférieur de l'âme montra qu'il se produisait également une flexion dans le plan vertical fort notable, la compression sur ce bord n'étant que de $2^k,7$, tandis que dans les semelles elle était de $3^k,6$.

Les diagonales tendues du même pont, faites en fers plats juxtaposés, indiquèrent pour les unes, une parité complète dans les efforts, pour les autres des différences allant jusqu'à 9 pour 100 pour les pièces apparemment placées dans des conditions identiques.

Un autre pont fut soumis à des épreuves de charges, marchant tantôt vite, tantôt lentement. La marche lente donna des résultats très sensiblement concordants avec le calcul ; le passage rapide de la même locomotive augmenta les efforts de 11 pour 100, sans cependant que les trépidations parussent avoir une influence marquée. Les diagrammes permettent en effet de reconnaître très distinctement quand il y a des mouvements vibratoires et quand les variations de charges sont constantes et graduelles.

Le faible effet des vibrations paraît être un des résultats caractéristiques obtenus sur l'ensemble des diagrammes.

Un grand pont de $54^m,60$ d'ouverture fut examiné pour ses diagonales, toutes en fers plats exclusivement tendus. Les barres les plus voisines des appuis donnèrent des résultats s'écartant seulement de 4 pour 100 de la

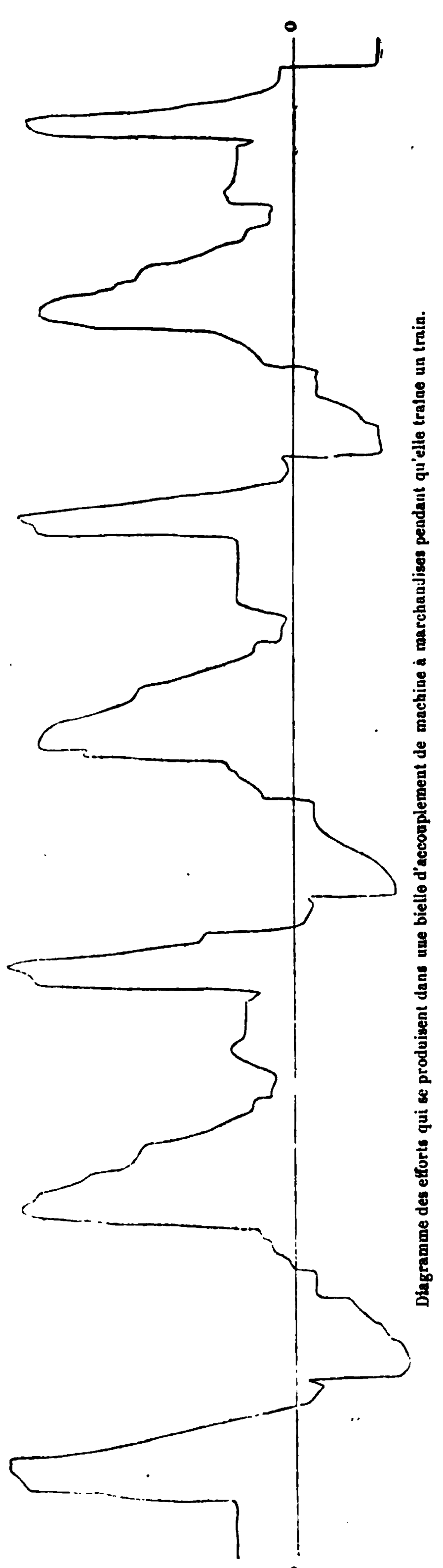


Diagramme des efforts qui se produisent dans une bielle d'accouplement de machine à marchandises pendant qu'elle traîne un train.

théorie, mais celles du milieu du pont, où les sections sont toujours beaucoup plus faibles, s'en écartèrent jusqu'à 44 et 46 pour 100 ! La poutre est ce que l'on appelle un système multiple, c'est-à-dire que le treillis peut se décomposer en plusieurs systèmes simples (deux dans le cas actuel) et M. Fraenkel en conclut que ces systèmes multiples sont sujets à des écarts notables, peut être dangereux, d'avec les résultats donnés par les méthodes habituelles de calcul.

Là encore, bien que le pont fût fermé, c'est-à-dire à entretoisements supérieurs, on constata dans les pièces comprimées des flexions latérales considérables.

Un autre pont, de construction très simple, fut soumis à des expériences dans presque toutes ses parties et en même temps on lui appliqua la méthode de calcul de Manderla, qui tient compte de la rigidité des nœuds ou croisements et des moments fléchissants qui s'y produisent. Ces calculs fort compliqués ne sont que très rarement employés, et on hésite en général à leur accorder une grande confiance, en raison même de leur complication. Il faut reconnaître que toutes les flexions locales indiquées par ce calcul se sont trouvées vérifiées par l'expérience.

Les longerons sous rails ont donné des résultats assez curieux. La discussion des diagrammes a prouvé qu'il y avait, non seulement une flexion dans un plan horizontal, mais aussi une tension générale de tous les lon-

gerons. D'où provenait-elle ? Une seule explication est possible, c'est que, la liaison des longerons aux grandes poutres étant assez puissante par suite des contreventements inférieurs, une partie de l'extension des membrures sous la charge se transmettait aux longerons, il venait toujours s'ajouter aux efforts directs de la charge roulante. On a également constaté d'une façon très nette que dès que la locomotive se présentait à une des extrémités du pont, les longerons de l'autre extrémité fléchissaient, l'un en dessous, l'autre en dessus. Ils se comportaient ainsi strictement comme une poutre continue posée sur un grand nombre d'appuis Aussi leur travail, sous le passage de la charge, était-il toujours moindre que ne l'indiquait l'hypothèse d'une pièce simplement posée sur deux appuis. Cette observation donne donc raison aux constructeurs qui souvent considèrent lesdites pièces comme possédant un demi-encastrement entre elles. Si ce mot est peu scientifique, il répond pourtant assez bien à la réalité des faits.

A première vue l'appareil en question peut sembler délicat et peu maniable. Voici cependant, pour terminer, un fait qui montre qu'il est possible de l'appliquer dans des conditions bien plus défavorables qu'on ne le pense. Il a été appliqué à une bielle d'accouplement de locomotive et il a donné dans cette situation un diagramme parfaitement régulier et dont les indications sont aussi nettes que s'il avait été au repos. Cela permet d'espérer qu'il pourra trouver d'autres emplois encore et qu'il permettra ainsi d'écrire l'histoire intime des éléments de construction auxquels on l'appliquera.

M. le Président remercie M. Seyrig de l'empressement qu'il a mis à nous faire connaître cet appareil et de l'intéressante description qu'il vient d'en donner.

M. Seyrig ajoute que si quelqu'un désirait l'appliquer à un ouvrage quelconque, il est persuadé que M. Fraenkel le laisserait à la disposition de ceux qui voudraient l'expérimenter.

M. Forest dit que, malheureusement, cet appareil ne permet que de mesurer l'effort moyen de la pièce. Si l'on prend, par exemple, un fer en T; toute la platine supérieure est supposée avoir le même effort. Eh bien, est-il vrai que le même effort, examiné à l'extrémité des deux ailes, soit le même au milieu ?

M. Seyrig craint de ne s'être pas suffisamment expliqué. Il a dit que la membrure du pont qu'il a cité avait été examinée par plusieurs appareils, afin d'avoir la tension à chacun des points. On peut les attacher en n'importe quel point.

M. Reynier donne ensuite communication de son Mémoire sur les accumulateurs électriques. (Voir le Mémoire, page 43).

M. le Président remercie M. Reynier de son intéressante communi-

cation. Il donne la parole à M. Lartigue pour une communication sur son système de chemin de fer à rail unique surélevé, suivie d'une application que M. Boistel en a faite pour la traction par l'électricité.

M. Charles Lartigue explique comment il a été amené à entretenir la Société de ce système, exposé au dernier concours général agricole du Palais de l'Industrie, et qui a intéressé un certain nombre de nos collègues. Il présente un modèle, réduit au quart, du type qu'il appelle : *voie agricole.*

M. Lartigue, sans réclamer le bénéfice de l'idée de faire circuler une roue à gorge sur un chemin de roulement, croit avoir combiné un ensemble de dispositions pratiques qui permettront l'établissement économique de voies de communication là où elles semblaient éliminées par la faiblesse du trafic et les difficultés du sol. Il ajoute que l'application de l'électricité à son *monorail* a été faite au concours de février dernier, et qu'une nouvelle application fonctionne, pour un service public, à l'exposition de Rouen. Il remercie notre collègue M. Boistel, qui a bien voulu l'aider dans ses expériences, et s'est chargé d'en faire connaître le résultat à la Société.

M. Lartigue expose ensuite les principales dispositions de ses appareils.

Le rail, en acier laminé, est en forme de plate-bande avec nervures longitudinales, d'une grande flexibilité horizontale et d'une forte résistance verticale.

On lui donne environ 0,007 d'épaisseur ; sur 0,080 de hauteur.

Sa section est d'environ 6 centimètres carrés.

Il est divisé en tronçons de 3 mètres, afin de rendre le transport, le maniement et la pose plus faciles.

Le support, sur lequel on place le rail, a la forme d'un A. Il se compose de deux fers cornières pinçant le rail entre leurs extrémités supérieures.

Un boulon les y fixe solidement. Les efforts que tous les organes ont à supporter, sont soulagés par la nervure longitudinale dont il a été parlé plus haut et contre laquelle portent la tête des supports et les éclisses.

L'écartement, à la base des fers cornières, est d'environ 50 à 60 centimètres ; ils sont rivés ou boulonnés sur une semelle en fer à ⌴, qui leur sert d'entretoise.

Afin d'éviter le glissement de la voie, on fixe la semelle sur le sol au moyen de deux broches, dont la longueur est d'environ 30 centimètres et que l'on chasse en terre.

Les rails sont réunis au moyen *d'éclisses ;* chaque rail porte, à l'une de ses extrémités, une paire d'éclisses fixées sur la moitié de leur longueur par deux boulons ou deux rivets ; deux autres boulons semblables sont placés dans des trous ménagés dans la seconde moitié de l'éclisse.

L'extrémité de l'autre rail, qui doit être prise entre ces éclisses, est entaillée de façon à venir s'engager dans les tiges des boulons.

Pour fixer complètement cette partie du rail, entre les éclisses, l'on serre les boulons et l'on passe une clavette par un trou ménagé à cet effet dans les éclisses et dans le bout entaillé du rail.

Les mouvements, résultant de la dilatation du métal, sont compensés par l'ovalisation de tous les trous.

Pose de la voie. Les sections de voie arrivant toutes préparées, avec leurs doubles supports, la pose est l'opération la plus simple du monde et n'exige le concours d'aucun ouvrier spécial.

Le premier rail étant posé, en ayant soin que l'éclisse soit tournée vers le prolongement de la voie, on le fixe solidement au moyen des broches et d'un faisceau de pieds triples; puis on amène successivement les rails suivants, dont on agraffe les encoches dans l'éclisse du rail précédent. Un léger coup de pioche, à l'endroit où viennent reposer les semelles, rectifie, s'il y a lieu, le terrain.

On comprend qu'aucun terrassement, aucune préparation du sol, ne sont nécessaires.

Courbes. La très grande flexibilité du rail, permet d'obtenir des courbes d'un très faible rayon.

Pour les faire, il suffit de soulever la voie et de la laisser retomber, après lui avoir fait opérer la conversion voulue.

Le dévers est obtenu naturellement par la légère inclinaison des semelles, qui se produit en faisant la courbe.

Pour donner aux courbes une grande stabilité, surtout dans le cas de faibles rayons, on place des faisceaux formés de pieds triples, vers leur sommet et sous les éclisses.

Changements de voie. Aiguillages. La flexibilité de la voie permet aussi de faire les aiguillages sur un point quelconque de la ligne et sans le secours d'aucun appareil spécial.

A la partie extrême de chacune des voies à desservir, qui est consolidée par un faisceau à trois pieds, est placée le bout d'un rail portant sa paire d'éclisses.

L'extrémité de la partie mobile porte un rail tourné du côté où sont les entailles. Il suffit donc, pour opérer un aiguillage, ou un changement de voie, de décrocher cette partie d'une des voies et de la reporter sur l'autre.

On peut de la sorte faire aboutir, à la même voie, autant de lignes rayonnantes qu'il est nécessaire.

Et, j'attire votre attention sur ce point, Messieurs, c'est que notre matériel peut être placé, déplacé, reporté dans n'importe quelle direction; qu'on peut établir sur n'importe quel point une courbe, un aiguillage, une voie de garage, etc., sans avoir à se précautionner d'aucune autre pièce que celles composant la voie courante. Nous nous sommes même arrangés pour n'employer, dans notre matériel, qu'un seul type de boulons.

Le fermier, l'exploitant de carrières ou de forêts, l'entrepreneur de travaux, n'ont donc pas à se préoccuper des conditions du terrain sur lequel ils auront à opérer. Avec nos travées de rails de 3 mètres, munis de leurs supports et leurs éclisses, ils peuvent faire face à toutes les exigences de leurs exploitations.

Passages à niveau. Pour les passages à niveau à la traversée des routes et chemins, il suffit de desserrer une éclisse, et, en soulevant la voie, on peut ouvrir une porte aussi large qu'on le désire.

Nous avons aussi préparé des portes à contrepoids, qui s'ouvrent par le relèvement d'un rail; mais cet appareil convient surtout aux voies posées d'une manière plus permanente.

Terrains marécageux. Généralement, on peut traverser les terrains fangeux sans rien changer au matériel ordinaire. Si le sol était par trop mou, une simple planche boulonnée sous les semelles suffit pour assurer leur stabilité. Quelquefois nous boulonnons ensemble trois semelles pour leur donner une portée plus grande et augmenter le pied de la voie, lorsque le terrain n'offre pas assez de solidité.

Déraillements. Ils n'offrent aucun danger. Le bâti du cacolet vient simplement reposer sur le rail, sans qu'aucun renversement soit à craindre.

Outillage pour réparations courantes de la voie :

Un petit levier,

Une clef.

Pose de la voie. Dans les dimensions usuelles pour la voie agricole, qui peut être employée aussi pour les petites exploitations industrielles, chaque travée de voie complète, d'une longueur de 3 mètres et comprenant : le rail, les deux supports avec semelles, la paire d'éclisses les boulons ou rivets et les broches, pèse environ 24 kilogrammes; soit environ 8 kilogrammes par mètre courant de ligne, tout compris.

Pour certains cas déterminés, on fait de la voie et du matériel pesant davantage, présentant une plus grande résistance et pouvant porter des poids non divisés plus considérables.

Ces voies doivent être employées de préférence pour des installations permanentes.

Matériel roulant. — Le matériel roulant se compose essentiellement d'une ou plusieurs roues à gorge, montées dans un bâti en fonte ou en fer; des boîtes à huile, d'une disposition particulière, hermétiquement fermées et présentant à la fois une solidité suffisante et une grande simplicité de construction, assurent la lubrifaction constante des axes.

Des deux côtés descendent des branches en fer convenablement assemblées et soutenues, et dont l'ensemble présente une figure analogue à un bât de mulet. Aussi n'avons-nous pas trouvé, pour désigner nos véhicules, de terme plus caractéristique que le nom de *cacolet*.

Mais si la carcasse est toujours établie d'après ce même principe, la forme des récipients que l'on peut y installer varie à l'infini, comme les besoins auxquels il s'agit de satisfaire.

Depuis le simple crochet, sur lequel on peut transporter la paille, le foin, l'alfa, le bois à brûler, etc., jusqu'à la voiture à voyageurs; nous avons étudié et préparé tous les types de véhicules. Je puis faire passer sous vos yeux des dessins représentant quelques-uns d'entre eux; paniers

culbutants pour transport de houille, grand cacolet pour pièces de bois jusqu'à 10 mètres de longueur, voiture à voyageurs, etc.

Nous avons pu, l'année dernière, au concours de Sidi-Bel-Abbès, installer sur nos cacolets les appareils dont se sert l'armée pour ses malades et ses blessés, c'est-à-dire le cacolet militaire, sorte de fauteuil en cuir, et la litière sorte de lit portatif. Les officiers qui ont suivi alors nos expériences, étaient d'avis que notre petite voie volante pourrait rendre de réels services aux armées en campagne.

La facilité de diviser la charge sur un grand nombre d'essieux et la possibilité d'augmenter le diamètre des roues, dans une assez forte proportion, sans compromettre la stabilité, permettent de réduire notablement l'effort de traction.

Nos cacolets présentent encore un avantage, comparativement aux petits chemins de fer à voie très étroite. Sur ceux-ci, on est obligé non seulement d'employer des roues de faible diamètre, mais encore de surcharger le poids du châssis, pour éviter le culbutage du véhicule, dans le cas où il est chargé en hauteur, ce qui arrive dans la plupart des cas. Pour notre matériel, au contraire, dont la charge est toujours au-dessous du point de suspension, nous pouvons ramener les dimensions et par conséquent le poids des pièces à la limite inférieure, en nous préoccupant uniquement de leur solidité. Généralement le poids mort de nos véhicules est de 10 à 15 pour 100 du poids utile qu'ils transportent. On pourrait croire qu'il faut une égalité parfaite entre les deux parties de la charge. Ce serait une erreur. Une différence de 25 à 30 pour 100 ne compromet en rien la stabilité et n'augmente même pas la résistance au roulement.

La flexibilité de notre rail nous permet de faire des courbes du plus faible rayon.

Les dispositions du matériel roulant lui donnent toute facilité pour suivre ces courbes.

Nous avons un système d'attelage extrêmement simple et très solide, présentant une flexibilité complète dans tous les sens.

Ils se compose de deux étriers en fer méplat et d'une forme cintrée. Nous les réunissons par un ressort à boudin qui se prête à tous les mouvements, soit dans les courbes, soit dans les passages de rampe à pente; mais dont la tension ramène constamment les véhicules en ligne.

A propos de cet attelage, permettez-moi de vous en signaler une application qui peut avoir son utilité.

Nous avons eu l'idée d'adopter une disposition analogue pour fixer aux voitures ordinaires les palonniers sur lesquels s'attachent les traits des chevaux, et l'effet que nous en attendions a été obtenu : le coup de collier est sinon supprimé, du moins fort atténué.

Voici ce qui se produit :

Au moment où le cheval se porte en avant, le ressort cède progressivement, et l'animal n'éprouve pas cette réaction brusque qui résulte de l'inertie de la voiture. Mais en se comprimant, le ressort prend plus de

force, et avant qu'il ne soit arrivé à l'état d'anneau, il a commencé à ébranler le véhicule.

J'ai l'honneur de mettre sous vos yeux, un de ces appareils destiné à des essais à la Compagnie des Omnibus.

Vous voyez, Messieurs, qu'avec cet attelage et des cacolets à une roue, nos trains peuvent passer dans n'importe quelle courbe.

S'il s'agit de cacolets à plusieurs roues, comme celui destiné au transport des longues pièces de bois, et qui a douze essieux, nous employons des chevilles ouvrières. Ici, le rayon des courbes est limité par la longueur des pièces à transporter et encore pouvons-nous le réduire assez sensiblement en donnant aux branches des cacolets plus d'écartement, ce qui augmente la flèche.

Ne voulant pas paraître développer ici une sorte de prospectus, je n'entrerai pas dans le détail des prix de nos appareils. Je me bornerai à résumer en trois chiffres, les économies que l'on peut en attendre par comparaison avec les petites voies portatives agricoles et industrielles.

Économie de 25 à 30 pour 100 sur l'achat par la suppression des parties courbes, aiguillages et pièces accessoires.

Économie de 70 à 80 pour 100 sur la pose.

Économie de 50 à 60 pour 100 sur la traction.

Et pour ne vous en citer qu'une preuve, je vous dirai que, d'après des expériences très sérieuses faites l'hiver dernier, par un des grands agriculteurs du département de la Somme, les opérations et dépenses relatives au débardage des betteraves sont réduites dans des proportions considérables par l'emploi de notre monorail. En voici les principaux éléments :

1° Poser, déplacer et reposer la voie au fur et à mesure de l'enlèvement des betteraves;

2° Remplir les mannes ou corbeilles et les charger sur les cacolets;

3° Conduire le train chargé à une distance moyenne de 250 mètres;

4° Vider les corbeilles et les replacer vides sur les véhicules;

5° Ramener le train vide dans le champ, à une distance moyenne de 250 mètres;

7° Amortissement de la valeur du matériel.

D'ordinaire, on estime que l'ensemble de ces frais, s'élève à un chiffre d'environ 1 fr. 75 à 2 fr. par 1,000 kilogrammes de betteraves.

Or, nous avons entre les mains la preuve qu'avec le monorail, la dépense atteint à peine cinquante centimes.

Il y a donc une économie de près de 75 pour 100 qui indemnise rapidement le propriétaire de ses frais d'installation nouvelle.

Dans de bonnes conditions de terrain, un cheval ou mulet de force moyenne peut donner, avec le monorail, un effet utile de 200 tonnes kilométriques par jour.

En estimant à 6 francs, la dépense journalière moyenne des chevaux et conducteurs, on voit que le prix de traction descendrait jusqu'à trois centimes par tonne et kilomètre.

Jusqu'ici je ne vous ai parlé, Messieurs, que de la voie agricole; mais nous avons été amenés plus loin. En effet, de nombreuses applications du monorail sont en préparation soit pour de grandes exploitations agricoles, minières et forestières, soit pour l'établissement de lignes secondaires pour voyageurs; et les demandes qui nous ont été faites, tant en France qu'à l'étranger, Angleterre, Islande, Russie, Autriche, Chili, Espagne, Colombie, etc., etc., nous ont obligés à étudier des moyens de traction plus énergiques et plus rapides que les bêtes de trait.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons commencé les expériences dont M. Boistel va tout à l'heure avoir l'obligeance de vous communiquer les résultats.

En même temps nous nous préoccupions de la création de petites locomotives spéciales, soit à vapeur, soit à air comprimé. Je vous demanderai la permission de vous les soumettre dès qu'elles seront construites.

Nous espérons ainsi pouvoir rendre certains services à notre pays par l'établissement de voies ferrées très économiques, à pose très rapide, n'exigeant que peu d'ouvriers, puisqu'il n'y a pas d'infrastructure; permettant, par la différence de hauteur des supports, de corriger jusqu'à un certain point, les inégalités du profil du sol; ne redoutant pas, comme les lignes à fleur de terre, surtout si elles sont à rails de petites dimensions, l'envahissement par les sables, la végétation, la boue, la neige, etc. Nous pourrons, d'une part, comme je l'indiquais en commençant, relier à nos grandes voies ferrées les localités qu'il avait fallu laisser en dehors des réseaux; d'autre part favoriser le mouvement d'extension de la France, dans les contrées lointaines où l'action combinée de nos armées et de la diplomatie, ouvre en ce moment de nouveaux débouchés à notre commerce et à notre industrie; j'ai nommé le Sénégal, le Tonkin, le Cambodge, etc.

M. Boistel. L'heure étant déjà très avancée, je me contenterai de vous donner rapidement quelques détails sur l'application, que j'ai eu l'occasion de faire dernièrement à Rouen, de la traction électrique, au porteur monorail de M. Lartigue qu'il vient de nous exposer d'une façon si claire et si précise.

Cette application est actuellement en marche à l'Exposition industrielle qui se tient à Rouen. Malheureusement, les démarches, pour obtenir l'autorisation, ayant été faites trop tardivement, lorsque le plan général de l'Exposition était déjà arrêté, on n'a pu donner à M. Lartigue qu'une des plates-bandes du jardin pour installer sa petite voie. Cette plate-bande est d'un dessin très contourné; et, afin de ne pas gêner la circulation des visiteurs dans le jardin de l'Exposition, M. Lartigue a dû se contenter du périmètre de cette plate-bande, qui n'a qu'un développement total de 111 mètres. La voie est donc une boucle fermée d'un développement de 111 mètres; et elle composée d'une série de courbes de rayons variables, généralement tous très petits, dont voici le détail :

6m,66	en courbe de	3 mètres de rayon.	
5m, »	—	4	—
9m,56	—	5 à 6	—
19m, »	—	6 à 8	—
56m, »	—	10 à 21	—
7m, »	—	60	—
103m,22			

7m,80 en alignement.

Profil en long. — Les 111 mètres se divisent en 54 mètres de rampes, 54 mètres de pentes, et 3 mètres de paliers.

Les déclivités sont les suivantes :

6 mètres de rampes de	1 millimètre et au-dessous.	
15 —	1 à 2 millimètres.	
15 —	2 à 3	—
3 —	4 à 5	—
6 —	5 à 6	—
3 —	6 à 7	—
6 —	7 à 8	—
3 —	8 à 9	—

La pente maximum est de 8m/m,31 sur une longueur de 3 mètres.

Train. — Le train se compose de :

1 cacolet moteur;

2 — porteurs.

Chaque cacolet porteur pèse	600 kilog.
Soit pour les 3 porteurs.	1800 kilog.
Le poids du cacolet moteur se compose de :	
Véhicule et organes de transmission de la machine secondaire aux roues motrices.	350 kilog.
Machine secondaire, type D 3	150 »
Mécanicien	70 »
Lest	30 »
Total. . . .	2,400 kilog.

Le courant électrique est produit par une machine Siemens type D 2, ordinaire, à électro-aimants dans le circuit. Cette machine est actionnée par une poulie placée sur l'arbre principal de la galerie des machines, et une transmission intermédiaire, lui imprimant une vitesse de 1,400 tours par minute. Les deux bornes de la machine primaire sont réunies par des câbles conducteurs isolés, souterrains, l'une avec le rail Lartigue porté par les supports en forme d'A, sans être isolé de ces supports, l'autre avec les deux fers Zorès latéraux, réunis en quantité, qui servent à la fois de conducteur de retour du courant et de soutien pour empêcher le balancement des cacolets.

La connexion électrique entre les diverses sections des rails bouts à bouts est assurée par les éclisses mêmes de la voie. Quant à la connexion des fers Zorès, elle est assurée par l'adjonction d'une petite lame de cuivre rouge.

La résistance des conducteurs et de la voie est de moins de 0,1 ohm. Il faut remarquer, d'ailleurs, que, par suite de la forme de la voie en boucle fermée, cette résistance est constante, quelle que soit la situation qu'occupe la locomotive électrique. La résistance totale du circuit, comprenant la machine primaire, les conducteurs, la voie et la machine secondaire, est d'environ 1,5 ohm.

La vitesse imprimée à la machine secondaire est d'environ 1,000 tours par minute. Il a été nécessaire de réduire considérablement cette vitesse, afin de ne donner aux galets moteurs qu'une vitesse présentant toute sécurité, malgré le tracé extrêmement sinueux de la voie et l'exiguïté des rayons des courbes. Cette réduction de vitesse est obtenue par l'intermédiaire de roues à gorge en bronze, de 60 et de 30 centimètres de diamètre, accouplées deux à deux, s'entraînant réciproquement par des cordes à boyau sans fin, de 1 centimètre de diamètre, et la vitesse finale des galets moteurs est de 125 tours par minute. Comme leur diamètre est de $0^m,25$, la vitesse de translation du train devrait donc être de $1^m,635$ par seconde, en réalité, à cause des glissements, dus principalement aux courbes, elle n'est que de $1^m,30$, le trajet de 111 mètres étant effectué en 85 secondes, ce qui représente 4,700 mètres à l'heure. Il est intéressant de constater que cette vitesse reste sensiblement constante sur tout le parcours, quelles que soient les difficultés présentées par les rampes et les courbes de la voie. Cela tient à l'élasticité des moteurs électriques ; le travail étant le produit des deux facteurs, efforts et vitesse, si la vitesse de la réceptrice tend à diminuer, la force contre-électromotrice qu'elle engendre tend aussi à diminuer, et, alors, l'intensité du courant tend à augmenter, et, comme l'effort tangentiel est fonction de l'intensité du courant, le produit EI reste constant.

Le petit train circule généralement dans le même sens ; cependant il peut marcher aussi bien en arrière qu'en avant. A cet effet, les balais, qui sont en contact avec le collecteur de la réceptrice, sont calés sur la ligne neutre, et, par la manœuvre de deux commutateurs conjugués, on peut renverser le sens du courant dans la bobine de la réceptrice sans le renverser dans les électro-aimants, de façon à changer le sens de rotation de la bobine.

Des résistances en fil de fer sont en outre disposées sur le cacolet moteur du côté où se trouve le conducteur, et un commutateur à manette permet d'introduire tout ou partie de ces résistances pour modérer l'intensité du courant, et conséquemment la vitesse, si cela est nécessaire.

Par suite de la disposition du terrain et de la facilité d'accès à l'embarcadère, le démarrage se fait sur une rampe de $2^m/_m6$, qui présente en même temps une courbe de $5^m,47$ de rayon.

Voici les résultats de quelques expériences que nous avons faites sur le travail absorbé et sur le rendement.

Le poids mort du train étant de 2,400 kilogrammes, et le train portant vingt-quatre voyageurs à 45 kilogrammes l'un, le poids total était de 3,480 kilogrammes. La vitesse a été de 1^m,30 par seconde.

Au démarrage, la force électromotrice de la machine primaire était de 165,5 volts ; celle de la machine secondaire de 105,7 volts ; l'intensité de 48 ampères. Le travail électrique absorbé était donc de 7,944 watts, soit 10,8 chevaux. Le travail récupéré était de 5,073 watts, soit 6,9 chevaux. Le rendement électrique était donc de 63,8 pour 100.

En marche courante, la force électromotrice de la machine primaire était de 139, 9 volts, celle de la machine secondaire de 98, 4 volts ; l'intensité du courant, de 22,35 ampères. Le travail électrique absorbé était donc de 4,2 chevaux, et le travail récupéré de tout près de 3 chevaux. Le rendement électrique était donc de 71 pour 100.

Il ne nous a pas été possible de faire des essais au frein pour déterminer le travail et le rendement mécanique ; mais, si nous admettons, ainsi que l'ont prouvé de nombreuses expériences, que nos machines dynamo transforment en énergie électrique 89 pour 100 du travail qui leur est fourni, et réciproquement, les rendements mécaniques, dans les deux cas ci-dessus seraient respectivement de 50 pour 100 et de 56,8 pour 100.

Il est intéressant de faire remarquer combien est importante l'influence des courbes de très petits rayons qui existent d'un bout à l'autre de cette petite voie établie à l'Exposition de Rouen. En tenant compte, en effet, du coefficient de rendement de 89 pour 100 que j'ai indiqué tout à l'heure, le travail mécanique, nécessaire pour remorquer le train, pesant 3,480 kilog., à la vitesse de 1^m,30 par seconde, est de 2,67 chevaux, d'où il résulterait que le coefficient de traction sur cette voie serait de 44 kilog. par tonne, chiffre plus que quadruple de celui que l'on admet pour des voies ferrées ordinaires, et qui, pour la voie Lartigue, doit encore être diminué considérablement.

Pour compléter les renseignements relatifs à cette petite installation, je vous dirai que le prix de la machine primaire est de 2,250 francs, et celui de la machine secondaire, de 1,250 francs ; le prix des appareils accessoires, transmissions retardatrices, résistances, commutateurs, etc., installés sur le cacolet locomoteur, est d'environ 1,500 francs. Le coût total de la partie électrique à ajouter au prix d'installation de la voie, que nous a donné M. Lartigue, est donc d'environ 5,000 francs. Mais, je m'empresse d'ajouter que ce matériel électrique, tel qu'il est installé, pourrait desservir une ligne semblable beaucoup plus longue, de 10, 12 et 15 kilomètres.

Je terminerai en vous donnant quelques indications sur une étude que j'ai faite dernièrement, à la demande de M. Lartigue, pour une exploitation de bois dans les principautés danubiennes. Il s'agit de descendre 60,000 mètres cubes de bois par an, le long d'un petit cours d'eau qui ne peut servir au flottage, mais qui peut fournir une chute de 40 à 50 chevaux, à la moitié de son parcours. La descente se ferait sans travail, grâce à la pente naturelle de la voie qui serait de 35 millimètres par mètre. La lon-

gueur de la voie serait de 8 kilomètres. Il n'y aurait qu'à remonter les cacolets à vide, et on demande que la vitesse ne soit pas supérieure à 8 kilomètres à l'heure, soit $2^{m},22$ à la seconde. J'ai supposé que le train serait formé de 20 cacolets pesant chacun 500 kilog. et portant 2,000 kilog. de bois; la charge du train serait donc de 40 tonnes, et en faisant 1,500 voyages dans l'année, soit 5 voyages par jour, en ne comptant que 300 jours de travail, on transporterait les 60,000 tonnes exigées.

En comptant sur un coefficient de traction de 1 pour 100 en palier, l'effort à la montée serait de 450 kilog. et la vitesse devant être de $2^{m},22$ par seconde, le travail serait de 1,000 kilogrammètres, ou 13 chevaux 1/3.

Le travail électrique à fournir aux bornes de la machine réceptrice serait donc d'environ 1,175 kilogrammètres, en comptant sur un rendement de 85 pour 100; et si l'on consent à avoir une différence de potentiel de 500 volts environ, il nous faudra un courant de 23,5 ampères.

La ligne aurait une résistance de 0,3 ohm par kilomètre, et la machine primaire étant placée au milieu de la longueur, la résistance maximum serait de $0,3 \times 4 = 1,2$ ohm.

La chute de potentiel aux bornes de la machine primaire serait donc de $500 + 1,2 \times 23,5 = 528,2$ volts.

La perte de travail due à la ligne sera :

$$\frac{R I^2}{9,81} \text{ soit } \frac{1,2 \times \overline{23,5}^2}{9,81} = 67,5 \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail électrique, aux bornes de la machine primaire, devra être, par suite : $1175 + 67,5 = 1242,5$ kilogrammètres.

Et si nous admettons encore un rendement de 85 pour 100, en énergie électrique, il faudra fournir à la machine primaire 1,460 kilogrammètres.

Le rendement mécanique, c'est-à-dire le rapport du travail récupéré au travail dépensé serait donc de 68 pour 100.

Cette installation exigerait comme machine primaire une machine capable d'absorber 25 à 30 chevaux, et coûtant 7,000 francs, et comme réceptrices, deux machines de 2,500 francs. Les accessoires du cacolet-moteur coûteraient environ 5,000 francs, ce qui mettrait à 1,700 francs environ le coût de toute la partie électrique.

M. le Président remercie MM. Lartigue et Boistel de leur communication.

MM. Dwelshauvers Dery, Henry, Robin Ruault et Thezard ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 18 Juillet 1884.

PRÉSIDENCE DE M. LOUIS MARTIN.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT. Quelqu'un a-t-il des observations à présenter, au sujet du procès-verbal de la dernière séance ?

M. NOBLOT. M. le Président, je demande la parole, non pas contre le procès-verbal, mais sur le procès-verbal.

Vous avez tous lu, Messieurs, dans le compte rendu de la dernière séance, une lettre écrite par M. Jantot, concernant les quelques paroles que j'ai prononcées, le 6 juin dernier. Je regrette vivement de n'avoir pu assister à la dernière réunion, parce que j'aurais pu, séance tenante, en deux mots, calmer la susceptibilité de notre camarade et ami M. Jantot. Tous ceux qui me connaissent savent ce que j'ai fait dans l'intérêt du travail national, tant pour sa conservation que pour son développement ; par conséquent, je ne puis pas être taxé d'indifférence ou d'hostilité à l'égard du travail français, quelle que soit sa nature.

M. Jantot a mal interprété les quelques mots que j'ai prononcés et leur a même donné une extension qui n'était nullement dans ma pensée, il me faire dire qu'il n'y a plus, en France, aucune espèce d'établissement de construction de machines pour filatures, c'est donner à mes paroles une portée qu'elles n'avaient pas. D'un autre côté, M. Jantot s'est mépris sur la nature du sentiment qui m'a fait prendre la parole ; c'est un sentiment, permettez-moi de le dire, d'amertume ; quand je pense à la situation qui a été faite à nos industries textiles et aux industries connexes, tant par les tarifs de douane que par la perte de notre malheureuse Alsace ; chaque fois que ce sentiment me monte au cœur et que l'occasion se présente de le manifester, je n'y manque pas. En effet, Messieurs, les traités de commerce, ou, plutôt, les tarifs de douane ont fait aux industries précitées une situation telle, que ces industries ne peuvent arriver à se reconstituer. Elles sont dans une position précaire, et les capitaux, natu-

rellement, ne se dirigent pas de ce côté-là, de sorte que cette reconstitution, si utile à notre pays, si utile à sa force, à sa richesse et à son indépendance, cette reconstitution ne peut se faire ou ne peut être tentée qu'au prix des plus grands efforts. Aussi, j'applaudis à tout ce qui est tenté dans ce sens, et je suis heureux de tous les succès obtenus ; je suis surtout très heureux des succès qui ont couronné les efforts de M. Jantot et qui sont tout à son honneur.

M. le Président. C'est un sentiment patriotique, du reste, comme je l'ai dit, qui a inspiré la lettre de M. Jantot. Évidemment, il a donné à vos paroles une portée qu'elles n'avaient pas. Vous avez dit, en somme, que les grands ateliers de construction de machines de filatures avaient été perdus avec l'Alsace. M. Jantot répond : « c'est vrai ; mais enfin, nous en constituons d'autres qui peuvent répondre aux besoins de ces industries, et j'en suis la preuve. »

M. Noblot. Je le répète, je suis très heureux des succès qu'il obtient, car il construit très bien.

M. le Président. Messieurs j'ai le plaisir, que vous partagez certainement avec moi, de vous annoncer la nomination au grade de chevalier de la légion d'honneur, de notre ancien Président, M. Marché. Vous vous joindrez à moi pour lui envoyer nos félicitations.

J'ai encore à vous annoncer la nomination de M. Albaret, Eugène, ingénieur à la Compagnie P. L. M., et celle de M. Barret, l'ingénieur qui, à Marseille, a construit toutes les machines des entrepôts ; c'est un ingénieur hydraulicien remarquable, aussi remarquable que modeste.

Quant à M. Falguerolles, vous le connaissez ; il est ingénieur aux chemins de fer de l'État. Enfin, M. Ravasse est aussi bien connu ; c'est le constructeur qui a succédé à M. Lecocq. Vous voyez, Messieurs, que la Société des Ingénieurs civils a été bien traitée, au 14 juillet.

M. le Président donne la parole à M. de Cossigny pour sa communication sur la nouvelle carte géologique de la France.

M. de Cossigny. Messieurs, j'ai habité pendant longtemps loin de Paris ; je ne pouvais donc que bien rarement assister, à mon grand regret, aux séances de la Société, et, par suite, je suis peu connu de vous. Je viens, du reste, vous faire une communication sur un sujet qui sort un peu du cadre ordinaire de nos travaux. Je vois qu'on exécute avec indulgence l'article du règlement, qui veut que chacun apporte une certaine somme de travaux, mais je croirais manquer à un devoir si je ne vous disais quelques mots d'une œuvre qui se poursuit et à laquelle j'ai pris part : l'établissement de la nouvelle carte géologique de la France.

Les cartes géologiques sont subordonnées aux cartes géographiques ; il est évident qu'un géologue qui n'aurait à sa disposition qu'une carte de France indiquant les villes, les fleuves, les cours d'eau principaux, ne pourrait que donner des indications générales sur chaque région ; indiquer par exemple que, dans telle contrée, on trouve des terrains tertiaires ou des terrains jurassiques. Mais, si on fait des observations plus détaillées, si on constate la présence de certaines roches en un point déterminé, il faut pouvoir indiquer le point où a été faite l'observation, car on ne peut pas relever une carte topographique, géologique et géographique en même temps.

La France est la première nation qui ait eu l'idée de faire des cartes topographiques; elle a fait sa carte d'État-Major, œuvre admirable, malgré les imperfections qui s'y sont glissées et les critiques dont elle a été l'objet. Les autres nations ont suivi cet exemple, et aujourd'hui qu'on possède de bonnes cartes topographiques complètes, la question des cartes géologiques est venue à l'ordre du jour. Toutes les nations européennes ont établi leurs cartes géologiques sur un plan uniforme, je pourrais même dire : toutes les nations civilisées du globe. Les Anglais, outre la carte géologique de l'Angleterre, ont une commission géologique chargée d'établir la carte géologique des Indes. Les États-Unis d'Amérique ont aussi leur commission géologique au service du gouvernement; ces commissions ont à leur disposition des ressources proportionnelles à l'étendue du territoire, et poursuivent leur travail entrepris depuis un certain nombre d'années.

En France, on a commencé vers la fin de l'Empire à s'occuper de cette question : on organisa, auprès du ministère des Travaux Publics, un service spécial, chargé de dresser la carte géologique de la France, en se servant de la topographie de l'État-Major et en rapportant les indications géologiques sur le tracé de l'État-Major.

Dans l'origine, il a été décidé que ce travail serait fait par les Ingénieurs des mines de chaque localité. Mais, c'est un travail aride et souvent pénible de visiter à pied les différentes contrées, de parcourir pied à pied, comme un chasseur, de vastes étendues de terrain ; il faut véritablement avoir le feu sacré, pour remplir convenablement cette mission. On a donc jugé que ce travail ne pouvait pas être imposé aux Ingénieurs des mines, mais que ce devait être une œuvre de bonne volonté, et il s'est trouvé un nombre très limité d'Ingénieurs des mines qui ont bien voulu travailler à la confection de la carte géologique de la France. Puis on s'est aperçu que le travail allait lentement, et on a admis la collaboration de toutes les personnes qui voudraient bien se charger du travail. Seulement les Ingénieurs des mines, étant rétribués par le Gouvernement, n'ont droit qu'à des frais de tournée, et le budget ne porte, pour le service des cartes géologiques, que des suppléments de frais de tournée aux Ingénieurs, et rien pour les honoraires; aussi les personnes, en dehors de l'administration, qui ont bien voulu faire ce travail ne pouvaient espérer que des frais de tournée, c'est-à-dire; 12 francs par jour d'excursion hors de chez soi. Or, il y a

encore beaucoup de travail à faire dans le cabinet, pour prendre connaissance de tous les travaux antérieurs sur la localité, pour déterminer ce qu'on a pu recueillir, pour faire les études nécessaires et le travail de la carte. Tout cela n'est compté pour rien ; par conséquent, on peut dire que ce service, pour ceux qui ne sont pas Ingénieurs de l'Etat, est gratuit ; et, dans ces conditions, il n'est pas étonnant que les candidats à cette fonction ne soient pas nombreux. Le personnel, en dehors d'un certain nombre d'Ingénieurs des mines, se composait des professeurs de géologie de toutes les facultés des sciences de France ; ajoutez-y quelques membres de l'administration des Forêts, qui peuvent s'occuper de géologie, des intendants militaires, qui emploient à ce travail les loisirs que leur laissent leurs fonctions, deux ou trois jeunes gens, possesseurs d'une grande fortune et ayant l'amour de la science, chose bien rare et à louer. Tout le service était ainsi composé de trente personnes, pendant un certain temps ; aujourd'hui, le personnel a augmenté. Je ne vous dirai pas comment je me suis trouvé pris dans l'engrenage ; toujours est-il que je me suis chargé du travail qui m'a été confié, et c'est ainsi que la Société des Ingénieurs civils se trouve représentée dans cette étude.

L'utilité de la géologie pour les Ingénieurs n'est plus à démontrer : elle est indispensable à ceux qui s'occupent de mines, de travaux de chemins de fer ou autres de ce genre. On a vu combien les Compagnies sont désireuses de renseignements ; on vous a exposé ici le grand travail fait en vue du sondage de la Manche, pour percer le tunnel du Pas-de-Calais ; les compagnies qui proposent la construction de tunnels, soit pour le Simplon ou d'autres directions, ont également chargé les géologues de faire des études spéciales. Mais, étant donné que la géologie est utile à l'Ingénieur, on peut se demander si les cartes géologiques elles-mêmes sont bien utiles. Je crois que réellement elles peuvent rendre de grands services, mais cela dépend de la façon dont elles sont faites. Il y a carte et carte. Il est évident que certaines cartes, donnant des indications générales, et montrant qu'une portion d'un département est occupée par des terrains tertiaires ou jurassiques, sont peut-être un acheminement vers les recherches scientifiques, mais rendent peu de services aux Ingénieurs qui veulent faire un canal ou un chemin de fer ; mais, si la carte arrive à spécifier le terrain qui se rencontre à peu près dans chaque localité, alors elle devient véritablement un document utile. Ainsi, je crois que l'Ingénieur, qui fait une première étude pour réunir deux localités par un chemin de fer, doit être heureux de trouver des indications qui lui disent qu'en suivant telle ou telle direction, il rencontrera des roches dures ou des roches tendres ; que, dans d'autres endroits, il aura du sable ou de l'argile ; qu'il trouvera des matériaux ou de la pierre de taille dans telle direction.

La nouvelle carte que l'on fait à présent indique, autant que possible, la position de toutes les mines, des carrières, des usines métallurgiques, et établissements de toutes sortes ; elle est accompagnée, en outre, d'une notice explicative, de sorte que je crois réellement qu'elle est appelée

à rendre des services. Cette carte n'est pas parfaite, elle est toujours perfectible; elle n'est peut-être pas constamment homogène, puisqu'elle est faite par différents collaborateurs, mais elle peut avoir cependant un intérêt sérieux. Je dois dire, toutefois, qu'on a fait quelques objections.

On a dit: vous parcourez le terrain et vous l'examinez; très bien! mais vous ne faites pas de fouilles, vous ne faites pas de sondages. Une personne qu'une localité intéresse peut, en se promenant, au premier coup d'œil, en apprendre autant que vous.

Cette objection est spécieuse; je ne la crois pas fondée. Dans une semblable étude, c'est en examinant beaucoup qu'on apprend à connaître le terrain. Au premier abord, une personne qui s'est occupée de géologie ne sait pas ce que peut être un terrain donné; mais, en l'examinant avec soin, en étudiant tous les éléments de la région, elle parvient à acquérir une notion exacte de la nature du sol.

Je suppose qu'on demande à quelqu'un, en lui désignant un bâtiment quelconque, d'indiquer le système adopté dans sa construction, de dire ce qu'il y a sous les murs, sous les plafonds, etc.; assurément, si la personne est étrangère aux procédés de construction, elle ne saura répondre de façon satisfaisante. Mais, par contre, posez cette même question à un architecte; rien qu'en voyant l'épaisseur d'un mur, il vous dira sans hésiter : ceci est un mur de refend, ceci est un gros mur; voilà une saillie dans le plafond qui indique la présence d'une poutre, et il y a là des solives allant en sens contraire. Si les couches de peinture cachent la nature des matériaux, grâce à quelque fissure ou quelque endroit dégradé, il saura reconnaître si le mur est bâti en briques ou en pierres de taille.

Il en est de même dans l'étude géologique d'une contrée. Les matériaux qui constituent le terrain ne sont pas distribués au hasard; il y a un certain ordre; un point en fait découvrir un autre; et par une étude approfondie, on arrive à se faire une idée générale de la constitution de la région, et à noter des faits qu'on ne saisirait pas si on s'était contenté de regarder le point où l'on se trouve. Ainsi, par exemple, telle personne qui aura fait du département de la Seine une étude détaillée saura vous dire sur quel sol repose la salle où nous nous trouvons, parce qu'elle n'ignore pas comment les couches sont disposées et comment elles se prolongent. Bref, quand on a constaté, sur des points multipliés, tout ce qui peut donner des indications précises, les endroits invisibles se déterminent ensuite, grâce à une interpolation qui se fait par le sentiment ou par les procédés géométriques.

Ainsi donc, la carte géologique d'une contrée, faite par une personne qui a exploré le pays, qui l'a examiné sous toutes ses faces, peut donner des indications qui ne sont pas sensibles, *à priori*, pour celui qui ne voit que le sol végétal.

Une des grandes difficultés, dans l'établissement des cartes géologiques, réside en ce que, outre les terrains tertiaires, secondaires,

disposés par couches horizontales et régulièrement superposées, il y a des terrains superficiels qui proviennent du glissement des terres, de l'entraînement des terres par les eaux et des bouleversements qui ont modifié la superficie du sol : il s'est formé une certaine couche superficielle qui recouvre les autres, un peu comme un manteau. Cette couche, de formation récente et qui constitue le sol végétal, on en faisait abstraction jusqu'ici dans les cartes géologiques.

Peu à peu, on a commencé à tenir compte de ces terrains superficiels, et j'ai cherché à en indiquer quelques-uns sur la feuille que je vous présente ici. La seule méthode pratique, car on ne peut noter dans tous ses détails la structure du sous-sol, consiste à négliger les couches peu importantes de terre végétale, et à n'indiquer sur la carte que ces sortes de terrain dont l'épaisseur est assez considérable pour offrir une réelle importance. On peut alors les signaler en limitant leur contour par une ponctuation particulière. Ces terrains sont intéressants, au point de vue agricole surtout.

Les Belges ont fait, dans ce genre, un travail un peu différent du nôtre, mais c'est le plus complet qui existe, à certains égards. Il faut dire que la Belgique, ayant un territoire restreint, a pu mettre plus de soin à ce travail ; au lieu d'avoir adopté, comme pour notre carte d'État-Major une échelle assez faible, elle a choisi l'échelle au 20/1000e, je crois, et le relief du sol est indiqué par des courbes de niveau équidistantes de 1 mètre. Dans de telles conditions, il n'était plus permis de se contenter d'un à peu près. La carte géologique de Belgique a donc été dressée avec grand soin, en employant même, lorsque le besoin s'en faisait sentir, les fouilles et les sondages; des teintes plates indiquent les dépôts superficiels qui forment le sol végétal. Quant au sol inférieur, il est indiqué surtout par la couleur employée pour les courbes de niveau et pour certains détails topographiques. Enfin, les affleurements de terrains différents, sont désignés par des lisérés de couleurs différentes.

De tout cet ensemble résulte une carte qui paraît d'abord un peu confuse et présente moins de netteté que la carte française, mais, quand on a l'habitude de comprendre ces notations, on n'éprouve plus aucune difficulté, et cette carte est encore plus complète et peut donner des indications plus précises que la nôtre.

La carte géologique de la France est déjà arrivée à un certain degré d'avancement; il y a une soixantaine de feuilles publiées, et il y aura 240 feuilles pour la France entière ; d'autres parties sont déjà en cours d'exécution.

Les administrations font souvent des publications, quelques-unes très belles ; mais on les distribue, par partie, à quelques fonctionnaires, à des personnes notables, et le reste demeure inutile. Quant au public, que cela pourrait intéresser, très souvent il en ignore l'existence ou bien ne sait comment se les procurer.

Je crois donc utile de vous dire que le service général de la carte géologique de la France a son bureau central dans une annexe de l'Ecole des Mines, à Paris, et que les personnes résidant à Paris peuvent se procurer les cartes en s'adressant à ce bureau, où on les vend. Elles sont à des prix variables et coûtent environ 6 francs la feuille ; c'est un prix assez abordable. Dans les départements, on peut les obtenir par l'intermédiaire des librairies, qui n'ont qu'à s'adresser au même service.

Voilà, Messieurs, à peu près ce que j'avais à dire sur cette question. La feuille que je vous ai présentée et pour laquelle j'ai fait le travail est celle de 1882 de l'État-Major, je laisse cette feuille et la carte belge à votre bibliothèque à titre de spécimen.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. de Cossigny de son intéressante communication.

M. DEHARME donne ensuite connaissance de son mémoire sur les Magasins généraux de la Seine.

Ces magasins, élevés par le Sous-Comptoir du Commerce et de l'Industrie à Bercy-Conflans, présentent une surface de 8,000 mètres carrés et peuvent recevoir, tant au rez-de-chaussée qu'aux six étages, 50,000 tonnes de marchandises de différentes natures.

I. *Dispositions générales.* Les magasins ont, en plan, la forme de deux rectangles accolés, de surfaces presque égales, limités par trois rues et par des courettes, ou couloirs, contiguës aux propriétés voisines.

La surface du rez-de-chaussée a été nivelée en pente, de manière à se raccorder avec les chaussées des rues périphériques. La différence de niveau de l'entrée à la sortie de la travée principale de circulation est de $1^{m},02$, ce qui correspond à une pente de $0^{m},007$ par mètre. Les deux travées transversales, destinées, comme les précédentes, à la circulation des wagons et des voitures, ont des pentes insensibles.

Le cahier des charges qui a servi de base au concours ouvert entre plusieurs constructeurs indiquait les conditions générales de l'exécution et notamment les charges par étage, qui étaient les suivantes :

Au 1er étage.	1,500	kilog.
Au 2e —	1,250	»
Au 3e —	1,000	»
Au 4e —	1,000	»
Au 5e —	1,000	»
Au 6e —	800	»

Soit 6,550 kilog. par mètre carré de projection horizontale.

Après un premier examen des projets produits, trois d'entre eux durent être abandonnés : un, avec charpente en bois, était tout à fait insuffisant ; les deux autres étaient beaucoup trop chers. Ceux de MM. Eiffel, Moisant Seyrig, différant peu comme prix, furent retenus. Quelques modifications et de nouveaux prix définitifs furent demandés à chacun de ces constructeurs, en vue d'une deuxième épreuve, et le Sous-Comptoir confia définitivement à M. Moisant, pour la somme de 1,950,000 francs la construction des magasins projetés.

Les travées du projet de M. Moisant ont généralement :

Dans le premier bâtiment	5m,992 sur 4m,804
Dans le deuxième —	5m,808 sur 5m,325

Les autres dispositions, escaliers, treuils d'aérage, de montage se comprennent aisément à l'inspection des plans.

II. *Fondations.* Eu égard à la mauvaise nature du sous-sol, les fondations des supports ou poteaux en fer et des murs ont dû être établies au moyen de puits, dont le nombre est de 230. Le sol, à la rencontre de la nappe d'eau souterraine, ne présentant pas les garanties voulues, des pieux ont été battus pour en augmenter la résistance. On a admis que le terrain pouvait être chargé à 2 kilog. par centimètre carré. Le reste de la charge a été reporté sur les pieux, le nombre de ceux-ci étant tel que la charge sur chacun d'eux ne dépasse pas 43 tonnes pour un diamètre moyen de 0m,30.

Le diamètre et le nombre des puits, les charges totales et par pieu se trouvent résumées dans le tableau suivant :

NOMBRE ET DIAMÈTRE DES PUITS			CHARGES TOTALES	NOMBRE de pieux par puits	CHARGE par pieu	NOMBRE de pieux pour tous les puits d'un même diamètre	TOTAUX	
			tonnes		t.			
230	156 intérieurs	8 de 3m de diamètre ..	476	12	39.66	96	1138	1744
		38 de 2m72	375	9	41.66	342		
		90 de 2.30	257	6	42.83	540		
		20 de 2.54	329	8	41.12	160		
	74 pourtour	6 d'angle saillant	233	6	38.88	36	606	
		2 d'angle rentrant	372	9	41.33	18		
		12 d'extrémités de travées	405	10	40.50	120		
		54 intermédiaires	311	8	38.87	432		

Le battage a eu lieu avec les sonnettes du système Lacour, dans lesquelles le mouton est creux et forme cylindre à vapeur ; la tête du piston portant sur la tête du pieu, l'action de la vapeur sur la partie supérieure du cylindre produit le relèvement de celui-ci qui retombe ensuite par son

propre poids. On a obtenu avec ces appareils un avancement trois ou quatre fois plus rapide qu'avec les sonnettes ordinaires.

Le prix du pieu de 7 mètres à 11 mètres de longueur, battu, mis en place, est revenu à 96 francs.

Après battage et recépage des pieux à $0^m,60$ au dessus du fond des puits, le nettoyage a eu lieu, puis le coulage du béton ainsi composé :

Gravier	1 mètre cube
Mortier	$0^{mc},500$.

Ce mortier était lui-même formé de :

Sable	1 mètre cube
Chaux hydraulique.. . .	330 kilog.
Ciment de Portland . . .	108 —

Pour les $0^m,60$ de la partie supérieure, le béton était enrichi et constitué comme suit :

Sable	1 mètre cube
Chaux hydraulique . . .	$0^{mc},300$
Ciment de Portland. . .	475 kilog.

de manière à obtenir une prise plus prompte et une sorte de monolithe capable de répartir convenablement la pression.

Au dessus de ce béton, a été placée une pierre de Villebois, de $0^m,40$ d'épaisseur; cette pierre s'écrase sous une charge de 900 kilog. par centimètre carré. Elle n'a été chargée qu'à 78 kilog. au maximum.

Enfin, sur cette pierre elle-même a été étendue une feuille de plomb de $0^m,005$ d'épaisseur, sur laquelle repose l'embase du poteau en fer.

III. *Élévation.* La partie de l'édifice au-dessus du sol se compose :

1° des poteaux ou supports;
2° des planchers(poutres, solives et parquets);
3° Des murs enveloppes;
4° Du comble (partie métallique et couverture);
5° Des contreventements.

1° *Poteaux.* Ils ont, en coupe, la forme d'un double T, avec une âme de hauteur constante : $0^m,40$, pleins à la base, en croisillons au sommet, les tables décroissant comme largeur, de $0^m,40$ à $0^m,15$, décroissant aussi comme épaisseur en raison de la diminution des charges de la base au sommet. Les âmes sont orientées nord-sud, comme les poutres.

Toute l'ossature métallique est calculée de manière à travailler à moins de 8 kilog. par millimètre carré. Les poteaux sont, en outre, calculés à la flexion suivant la formule de Collignon.

2° *Planchers.* Les poutres, en fer composé, ont de $0^m,80$ à $0^m,70$ de hauteur, suivant les étages. Les attaches sont renforcées par des goussets.

Elles sont calculées comme posées sur deux appuis, sauf dans la grande travée (11m,20), où on les a supposées demi-encastrées, en raison de l'importance de leurs retombées.

Les solives, au nombre de 11,000 environ, sont en fer méplat et cornières, à croisillons dans les travées de 7m,60 et à N dans les travées courantes. Leur hauteur varie de 0m,50 à 0m,55. Malgré leur apparente légèreté, elles présentent une très grande rigidité et sont plus économiques que les solives à âme pleine, à larges ailes, du commerce.

Sur les solives sont fixés, au moyen de vis, des tasseaux en sapin, et sur ces lambourdes est cloué le parquet en grisard, par frises de 0m,027 d'épaisseur.

3° *Murs enveloppes.* L'enveloppe des magasins consiste :

A la base, sur la hauteur du rez-de-chaussée, en un mur de 0m,50 d'épaisseur, en meulière et chaux hydraulique, enduit en ciment.

Sur la hauteur des cinq étages, en un pan de fer de 0m,12 d'épaisseur, en briques creuses, enduit en plâtre aux deux faces.

Le rez-de-chaussée, par sa fraîcheur, les étages, par la légèreté de leurs parois et leurs nombreuses ouvertures, se prêtent bien : le premier à l'emmagasinement des vins, les seconds à celui des grains et des farines.

Le pan de fer peut obéir, sans qu'il en résulte d'inconvénient aux mouvements qui pourraient résulter des changements de température.

4° *Comble (partie métallique).* — Le comble est formé de trois nefs : une médiane au-dessus de la grande travée; une seconde à droite, au-dessus du premier bâtiment, la troisième à gauche au-dessus du second.

Les fermes sont formées d'arbalétriers reliés par des pannes métalliques. Ces arbalétriers sont soulagés par le prolongement des poteaux et sous-tendus par des entraits en cornières. Des croix de Saint-André complètent la solidarité et assurent l'indéformabilité de l'ensemble.

(*Couverture.*) — Entre les chevrons et sous les lattis on a construit un hourdis en plâtre formant lambris. Au-dessus, portée par un lattis en fer, est la couverture proprement dite en tuiles d'Alkirch, de Gilardoni.

Les gouttières sont en zinc; les chéneaux dans les noues en fonte, à joints en caoutchouc (système Bigot-Renaux).

5° *Contreventements.* Les contreventements sont établis de diverses espèces :

a. *Dans les plans (est-ouest) des files de poteaux.* — La raideur pouvant être moindre dans ce sens que dans le sens nord-sud, des cornières jumelles relient le pied de chaque poteau avec la tête du poteau voisin (à la hauteur du premier étage). La même cornière se continue jusqu'au point où le poteau suivant atteint le troisième étage et ainsi de suite de deux en deux étages, dans toutes les files de poteaux, contre les faces formant tables de ceux-ci et sur toute la hauteur du bâtiment.

Les pieds et les sommets des poteaux sont, en outre, réunis par des cours de cornières placées horizontalement sous le sol et dans le comble.

b. *Angles et jonctions des deux bâtiments.*— Des contreventements en fer méplat ont été posés dans les travées d'angles et de jonction des deux bâtiments sous le parquet.

En outre, dans les angles saillants et rentrants, et à tous les étages, contre l'enduit intérieur, des croix de Saint-André en cornière ont été placées pour donner à la construction la plus grande rigidité.

IV. *Machinerie.* Les divers étages sont desservis par sept monte-sacs répartis sur la surface totale des magasins et placés au-dessus des grandes voies de circulation du rez-de-chaussée.

L'emploi de la vapeur et de transmissions par arbres ou par courroies n'aurait pas été avantageux. Une grande partie de la force nécessaire pour faire mouvoir un appareil éloigné des moteurs, aurait été dépensée d'une manière stérile par les organes interposés. De plus, il aurait fallu maintenir des générateurs en feu presque constamment pour être en mesure d'effectuer tous les chargements ou déchargements à faire à des heures indéterminées. L'eau comprimée à haute ou à basse pression est exempte de ces inconvénients. Le délai considérable demandé pour l'installation d'appareils comportant l'emploi de l'eau à haute pression, la nécessité d'avoir un moteur toujours en mouvement pour maintenir la pression constante, divers autres inconvénients nous ont conduit à adopter des treuils actionnés par les moteurs du système Mégy, utilisant l'eau à la pression de 19 mètres environ, qui est celle du sixième étage des magasins. Cette installation a été faite par MM. Sautter-Lemonnier et Cie. La canalisation hydraulique a été dirigée par M. Kern.

L'eau provient d'un puits de 3 mètres de diamètre, établi dans la cour d'entrée des magasins, fermé à sa partie supérieure par une voûte hémisphérique et foncé au travers de sables mouvants à l'aide d'une trousse coupante en tôle. Ce puits, qui a 8 mètres de profondeur environ en contre-bas du terrain naturel, a coûté 20,414 francs.

L'eau est aspirée par deux pompes oscillantes conjuguées de 150 millimètres de diamètre et de 200 millimètres de course, actionnées par une machine demi-fixe de 8 chevaux, du type Belleville. (Deux autres pompes et une seconde machine peuvent suppléer les précédentes en cas de réparations.) Le rendement de ces appareils est de 80 pour 100 environ. Le prix de l'eau, élevée et emmagasinée à la partie supérieure des magasins, revient à 0^f,02 le mètre cube, non compris l'intérêt et l'amortissement des appareils. Une canalisation souterraine la conduit à chacun des 7 groupes de moteurs placés au rez-de-chaussée.

Les moteurs du système Mégy sont des cylindres oscillants de 100 millim. de diamètre et 130 millim. de course, qui agissent par l'intermédiaire d'un arbre et de deux roues dentées sur l'arbre d'un treuil formé de deux tam-

bours. Deux câbles s'enroulent en sens inverse sur chacun de ces tambours qui sont entraînés d'un mouvement commun, après un réglage préalable à chaque opération, imposé par la hauteur variable de l'étage à laquelle il faut prendre ou livrer la marchandise. La vitesse à la descente est soumise à un régulateur du système Mégy, dans lequel des blocs en fonte, actionnés par la force centrifuge, lorsque la vitesse dépasse 1 mètre par seconde, donnent naissance à un frottement supplémentaire qui ralentit la marche de l'appareil.

A la partie supérieure, au sixième étage, se trouve un pylône en fer qui porte les poulies de renvoi des deux câbles et de la corde de manœuvre.

Les tire-sacs sont établis de manière à pouvoir élever un sac de farine de 160 kilogrammes à la vitesse de $0^{m}50$ par seconde. Le rendement est de 60 pour 100 environ du travail théorique, et la dépense d'élévation d'un sac de farine à $19^{m},45$ de hauteur est de $0^{f}\ 0032$.

V. *Dépense.* — Le prix de revient des Magasins généraux de la Seine s'établit comme suit :

Entreprise générale	Forfait	1.950.000 fr.
	Travaux complémentaires ou accessoires non compris dans le forfait	275.674
Battage de pieux		178.314
Travaux de terrassements		150.382
Canalisation souterraine		23.812
Épreuves de l'ossature métallique		4.751
Inscription		812
		2.583.745 fr.

Le prix par mètre carré de surface ressort à $\frac{2.583.745}{7002^{m^2}} = 369$ francs, pour six étages et un rez-de-chaussée, non compris les acquisitions de terrain, l'installation hydraulique et mécanique, les voies, égouts et chaussées ; ce qui fait ressortir le prix du mètre carré par étage à

$$\frac{369}{7} = 52 \text{ fr. } 70$$

Si le terrain n'avait pas exigé des fondations difficiles, qui ont nécessité le fonçage de 230 puits, le battage de 1500 pieux et le remplissage des puits en béton riche en ciment, la dépense aurait été moindre de 300.000 francs, et le prix de 369 francs, n'aurait été que de 326 francs environ.

J'ai terminé, Messieurs, si vous désirez maintenant quelques renseignements au sujet de la machinerie. M. Sautter, qui est ici, se fera un plaisir de vous les donner.

M. le Président. M. Sautter a-t-il quelques renseignements à nous donner à ce sujet ?

M. Sautter. J'ai peu de choses à ajouter à ce que vient de dire M. Deharme. Je voudrais simplement appeler votre attention sur une particularité du

moteur hydraulique, particularité qui est tout entière dans sa distribution. La grande difficulté, dans ces moteurs, c'est d'avoir, dès le début, des orifices d'échappement suffisants pour ne pas avoir de chocs. Avec la vapeur, ces inconvénients n'existent pas, parce qu'on a plus de vitesse qu'avec l'eau. Le tiroir est cylindrique; sur son axe est calé un levier portant une fourchette venant passer par un point fixe; la fourchette peut coulisser, mais le point est immobile. Lorsque nous plaçons la machine au point mort, dès que le mouvement se produit, l'oscillation du cylindre produit aussitôt un mouvement d'oscillation du tiroir, qui vient s'ajouter au mouvement d'oscillation du cylindre ; lorsque le piston se met à marcher et arrive à 15 centimètres environ, l'orifice est entièrement ouvert. Grâce à cette disposition spéciale, on peut atteindre une grande vitesse, qu'on ne pouvait pas obtenir avec d'autres dispositions. Je signalerai également que la pompe qui sert à l'alimentation du réservoir est basée sur le même principe : c'est le moteur renversé et fonctionnant en sens inverse. L'eau, au lieu d'être introduite directement, passe derrière le piston. Il y a ici une petite différence : c'est que si le tiroir était fait, comme à l'ordinaire, sous l'effet de la pression de l'eau, le tiroir se soulèverait; de sorte que, pour éviter cet inconvénient, le tiroir est cylindrique.

Voilà la disposition caractéristique du moteur que je voulais vous signaler; les autres organes ne présentent aucune particularité et sont communs aux autres machines.

M. Ivan Flachat demande quelques éclaircissements sur les poteaux en tôle cités par M. Deharme.

M. Ivan Flachat. Vous avez parlé de la forme des poteaux en double T; vous avez paru regretter que l'entrepreneur ne leur ait pas donné la forme en caisson employée dans la construction des magasins du Printemps, et il m'a semblé que vous n'en donniez pas d'autre raison que celle de l'économie.

Je serais porté à douter que ce soit bien véritablement la seule raison qui ait pu guider l'entrepreneur. La comparaison entre ces deux formes de poutres ou de poteaux en fer a été faite il y a déjà bien longtemps, et j'ai été témoin des discussions auxquelles elle a donné lieu; j'ai vu abandonner, dans les constructions métalliques, la forme en caisson par laquelle on avait commencé la construction des ponts métalliques en France, pour une raison qui n'est pas celle de l'économie. Le pont d'Asnières a été construit, en 1848, avec des poutres en caisson. Depuis, cette forme a été abandonnée à peu près partout, et les ponts qui se construisent maintenant ont presque tous leurs poutres en double T. En effet, la tôle n'est pas éternelle; il y a des rivets qui cassent, et, sous l'influence de l'humidité atmosphérique, la rouille corrode les fers, et les tôles plus rapidement encore. Parfois aussi, les tôles ont à subir des influences chimiques, et c'est le cas précisément à Bercy, où l'on doit emmagasiner diverses marchandises altérables et fermentescibles; évidemment les tôles y sont sujettes à des altérations diverses. Eh bien, si vous étiez placé vis-à-vis de la forme en caisson, et s'il vous

fallait remplacer une des tôles placées entre les deux semelles, comment feriez-vous pour opérer le remplacement? Vous avez, avec la poutre en caisson, des difficultés qui n'existent pas dans le double T. L'une des têtes de rivet étant à l'intérieur, vous ne pouvez y avoir accès ni avec le marteau, ni avec la bouterolle.

Ce sont ces difficultés qui ont déterminé les constructeurs à abandonner la forme en caisson, d'autant que la compensation qu'elle semble offrir au point de vue de la stabilité des semelles n'existe pas en pratique. Sur le dessin, il est vrai, l'aspect prévient en faveur du caisson, quand les semelles sont un peu larges : vous voyez, abandonnées à elles-mêmes, deux grandes lignes, dans la poutre en double T, tandis que, dans le caisson, vous voyez un rectangle bien fermé et qui se présente bien; mais, en pratique, ce n'est pas tout à fait la même chose. Si les semelles sont assez larges pour nécessiter un entretoisement, vous pouvez le faire aussi bon, dans les poutres à double T, et je dirai même meilleur, car il le deviendra certainement au bout de quelques années. Vous pouvez très bien entretoiser votre poutre par des croisillons, en ayant soin de ne pas trop les rapprocher pour permettre le passage des outils entre les mailles, tout en leur donnant une importance suffisante pour empêcher les semelles de se voiler, en maintenant solidement leur écartement.

Avec ce système, vous pouvez toujours remplacer un rivet ou même une lame, si elle vient à s'altérer, et vous aurez toujours accès des deux côtés pour placer votre bouterolle. Telle a été, je crois, la raison de l'abandon de la poutre en caisson, et j'estime que ce point-là méritait d'être signalé, pour ne pas blâmer ce qui a été fait aux magasins généraux, et qui me semble, au moins à ce point de vue, très bien compris et de nature à assurer l'entretien et la stabilité de l'ouvrage.

M. Deharme. Je suis très partisan du caisson, parce que je crois qu'il donne une grande résistance, qu'on n'obtient peut-être pas avec une lame unique, mais qui s'obtient très bien avec une lame double, comme on a fait au Printemps. J'ai vu ce qui a été fait au Printemps par notre camarade M. Baudet; je regrettais presque de ne pas avoir demandé qu'on mît, à Bercy, un peu plus de raideur dans le poteau.

Maintenant, j'ai obvié un peu à cet inconvénient, si toutefois il existe (car, M. Moisant et moi, nous ne sommes pas du même avis), par les contreventements dont je parlais tout à l'heure. Il y a dans l'emploi de ces constructions une rigidité plus grande donnée au poteau, et une solidarité générale qui n'existe même pas au Printemps; de sorte que je crois avoir corrigé d'une autre façon ce qui, peut-être, laissait à désirer dans les poteaux de M. Moisant. Maintenant, le système que vous indiquez est encore un moyen excellent de réaliser la rigidité.

M. Ivan Flachat. Je ne voudrais pas qu'on prît mes paroles pour une critique des dispositions adoptées au Printemps. Les conditions physiques des magasins généraux sont bien différentes de celles du Printemps; à Bercy, vous avez des magasins où les fers sont un peu livrés à eux-mêmes,

exposés à l'humidité, et à bien d'autres altérations, tandis que, au Printemps, les magasins sont des appartements, chauffés en hiver, soignés et surveillés en tous temps, et il est à croire que les poutres et poteaux en fer, dans des conditions aussi favorables, dureront presque indéfiniment. Bien plus, vous n'y avez pas à craindre les trépidations, telles que celles que le jeu des très intéressantes machines hydrauliques que M. Sautter vient de nous expliquer, ne saurait manquer d'occasionner et qui pourront bien faire détacher quelques rivets; vous n'avez pas toutes ces causes d'altération.

Aussi, il ne serait pas téméraire de présumer que le même Ingénieur, ayant eu ces deux établissements à construire, aurait pu adopter pour chacun deux, et avec raison, les deux systèmes de construction que nous y voyons aujourd'hui.

M. Noblot. Vous avez fait une comparaison entre les supports en fer et les supports en fonte. En Alsace, nous prenons des supports en fonte; pourquoi avez-vous adopté les supports en fer ?

M. Deharme. La raison pour laquelle nous avons adopté le fer est que, pour obtenir des colonnes en fonte de plus de 20 mètres de hauteur, il faut les composer d'un certain nombre de morceaux, il faut faire des assemblages sur parties tournées; si on n'a pas un emboîtement irréprochable, si l'horizontalité de la portée inférieure et le parallélisme des deux surfaces ne sont pas parfaits, il arrive que la colonne supérieure s'appuie sur un élément superficiel très faible; de là une charge énorme par millimètre carré de cet élément. En outre, si dans des piliers en fonte qui, comme ceux dont je parlais tout à l'heure, portent chacun le poids de 40 wagons chargés à 10 tonnes c'est-à-dire 400 tonnes, il y a des soufflures qu'on ignore, on court un danger sérieux; tandis qu'avec le fer, on le reçoit d'abord en feuilles détachées, en cornières etc. Avant d'assembler, on constate la qualité de ces fers, on voit la manière dont se font les assemblages : on a ainsi plus de sécurité. Nos poteaux de 23 mètres arrivaient au chantier en trois morceaux ; M. Moisant voulait les boulonner, j'ai demandé qu'ils fussent rivés, et ils l'ont été, de sorte que nous avons ainsi un seul morceau de fer. S'il vient à se produire, dans ce poteau quelque voilement, quelque déviation, l'inconvénient est sans importance avec le fer, tandis qu'avec la fonte il y aurait grand danger. C'est une question de sécurité qui nous a déterminés à agir de la sorte.

M. Hauet. Quelle est la raison qui vous a fait préférer le plancher en bois au plancher incombustible ? C'est une simple question que je pose, ce n'est pas une critique.

M. Deharme. C'est par économie; nous avons employé du grisard, parce que nous pouvions avoir avec ce bois un parquet beaucoup meilleur qu'avec du sapin, sans quoi nous aurions pris du sapin, comme on le fait généralement.

Pourquoi n'avons-nous pas fait un plancher incombustible ? C'est parce que nous aurions augmenté considérablement la charge. On est venu nous

proposer de mettre, sous nos planches en bois, de grandes briques creuses d'un seul morceau faisant un tout entre les deux solives : cela aurait augmenté la charge, nous n'avons pas donné suite à cette proposition.

M. Roy. Les murs des étages supérieurs sont minces, ils sont en briques. Est-ce que vous pensez que les réactions de la température, si faibles qu'elles soient, ne doivent pas avoir une influence nuisible aux marchandises approvisionnées ? Est-ce qu'il n'aurait pas été préférable de faire deux cloisons, séparées par un espace de 15 à 20 centimètres ? Ce mur me paraît un peu mince.

M. Deharme. Nous avons pris modèle, pour cela, sur une grande raffinerie qui existe à Saint-Ouen, construite par M. Moisant, il y a plusieurs années. Vous savez que, dans les raffineries, on a des températures excessives.

M. Roy. Dans les magasins, vous avez toute espèce de marchandises : les unes peuvent craindre l'humidité ; d'autres, la chaleur ; d'autres, le froid. Dans une raffinerie, on n'a pas besoin de se mettre à l'abri du froid, l'hiver, puisqu'on aura toujours chaud, et que l'été, la température est encore supérieure à la température extérieure. De plus, dans une raffinerie, vous n'avez qu'une sorte de marchandise, mais, dans un magasin, vous avez des marchandises de toute espèce. Le cas est différent.

M. Deharme. J'ai soumis la question, avant d'adopter cette manière de faire, au directeur de nos magasins : il a adopté le pan de fer simple immédiatement, parce qu'il a trouvé qu'il y aurait une ventilation, un aérage plus sûrs avec des parois minces qu'avec un gros mur plus impénétrable. Dans ces magasins, les marchandises qu'on reçoit surtout sont des grains ; ceux-ci se trouvent très bien de ce régime : il y a des fenêtres larges, donnant de grandes entrées à l'air. En outre, comme les magasins ont une grande largeur, les influences du dehors se font peu sentir au centre : il y a toujours des chemins de ronde autour des tas de blé, le long du pan de fer. Depuis deux ans que les magasins sont construits, je n'ai jamais ouï dire qu'on ait regretté cette disposition.

M. de Cossigny, au sujet du battage des pieux, désire rappeler un souvenir. Les Italiens, autrefois, ne connaisaient pas nos sonnettes ; quand ils enfonçaient un pieu, c'était, le plus souvent, au fond d'une fouille, d'une excavation, sur laquelle on établissait un échafaudage. Le pieu à battre était descendu au fond de l'excavation, et on le maintenait en position par quelques étais ou traverses placés d'une manière quelconque. Sur le sommet du pieu était pratiqué un trou de tarière, et, pour outillage, on avait une barre de fer, terminée au haut par un anneau. La partie inférieure était implantée dans le trou susdit, la partie supérieure était amarrée par des haubans aux objets voisins ; le mouton était enfilé sur la barre de fer ; à la tête, il y avait un certain nombre d'anneaux auxquels on attachait des cordes, ou des *tiraudes*, que les hommes tiraient successivement. Ce système paraît barbare, mais il a servi à fonder Venise et les principaux

monuments d'Italie; il a même servi à faire les travaux modernes, avant que les Ingénieurs aient fait invasion dans le pays. Or, le système ingénieux qui nous a été décrit tout à l'heure ressemble à ceci : c'est l'application de la vapeur à cet ancien procédé. La tige du piston est implantée sur la tête du pieu, où elle prend un point d'appui.

Quant aux machines hydrauliques, ces moteurs à mouvement rotatif sont nouveaux et ont été peu employés dans les temps qui nous ont précédés. Cependant, leur idée première remonte à une époque assez éloignée. Ainsi, il y a quarante ans, près de Grenoble, dans la vallée du Drac, un établissement thermal, étant situé sur le plateau voisin, à une grande hauteur au-dessus du fond de la vallée, il fallait une pompe pour refouler l'eau minérale jusqu'à l'établissement de bains. On avait établi une machine à colonne d'eau; c'est une machine rotative, tournant à une assez grande vitesse, d'une manière continue, qui actionne la pompe, et a pour moteur l'eau amenée des sources des hauteurs voisines, par des conduites en fonte. Les difficultés de ce système sont, comme on l'a dit, dans la distribution. J'ai été surpris, à l'époque où j'ai visité cette installation, il y a une quarantaine d'années, de voir des machines avec tiroirs fonctionner très bien avec l'eau, et à une vitesse assez notable. Cette machine était due à M. Breton, ingénieur des ponts et chaussées, très connu par ses travaux, notamment par son traité sur le nivellement.

M. le Président. Je remercie M. Deharme de son intéressante communication.

La séance est levée à dix heures et demie.

LES

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Par M. Émile REYNIER.

Les *accumulateurs électriques* sont depuis quelque temps l'objet de nombreuses recherches ; on s'efforce de les transporter, du domaine scientifique où ils sont restés confinés pendant vingt ans, sur le terrain des applications industrielles. Si je ne me trompe, ces efforts sont sur le point d'aboutir.

Un sentiment de convenance a déterminé les physiciens à ne point vous parler des accumulateurs avant qu'ils eussent atteint un certain degré de maturité pratique. La même réserve ne leur était pas imposée vis-à-vis des sociétés qui, par leurs attributions spéciales, s'intéressent aux travaux de laboratoire sans avoir à connaître de leur utilité pratique.

Grâce à ces recherches préalables et aux discussions qu'elles ont provoquées, le dossier des accumulateurs est déjà riche assez en documents utilisables pour qu'on puisse tenter de grouper et discuter les faits acquis, afin d'en tirer des conséquences pratiques. C'est ce travail de synthèse, spécialement préparé pour elle, que je viens présenter à la Société, en la priant de vouloir bien me tenir compte de la difficulté du sujet.

Dans cet exposé nécessairement très rapide, je serai obligé de procéder par affirmation à l'égard de certaines propositions encore contestées. On comprendra que j'agis ainsi pour ne pas abuser de votre attention, et non pas pour me soustraire à des démonstrations que j'ai développées, sous ma responsabilité personnelle, dans l'ouvrage

dont j'ai tout à l'heure fait hommage à la Société. Je vous prie donc de vouloir bien considérer ce livre[1] comme un recueil de pièces justificatives à annexer au travail que je vous soumets aujourd'hui.

Prenant les principaux systèmes d'accumulateurs à leur principe, j'étudierai leurs propriétés fondamentales dans la forme élémentaire du *voltamètre*. Les *genres* étant ainsi caractérisés, les *espèces* viendront naturellement s'y classer et leur étude pourra être réduite à l'examen des particularités offertes par chacune d'elles.

Après cette revue rapide des principaux types d'accumulateurs, je trai-



Fig. 1.

terai succinctement les questions que soulève l'emploi de ces appareils : *capacité*, *rendement*, *régimes de charge et de décharge*, *conservation de la charge*, *durée et formule de mérite*.

Je terminerai par l'énumération des *applications* les plus importantes.

1. *Piles électriques et accumulateurs*. Recherches techniques. *J. Michelet*, Paris, 1884.

I

PRINCIPE DES ACCUMULATEURS. — VOLTAMÈTRE.

Soit un récipient contenant un liquide électrolysable dans lequel plongent deux lames conductrices de même nature qui ne se touchent point (fig. 1).

Cet appareil est inerte, car les deux lames étant physiquement symétriques par rapport au liquide, il n'y a pas de raison pour qu'il s'établisse entre elles une différence de potentiel.

Mettons les deux lames respectivement en communication (fig. 2)

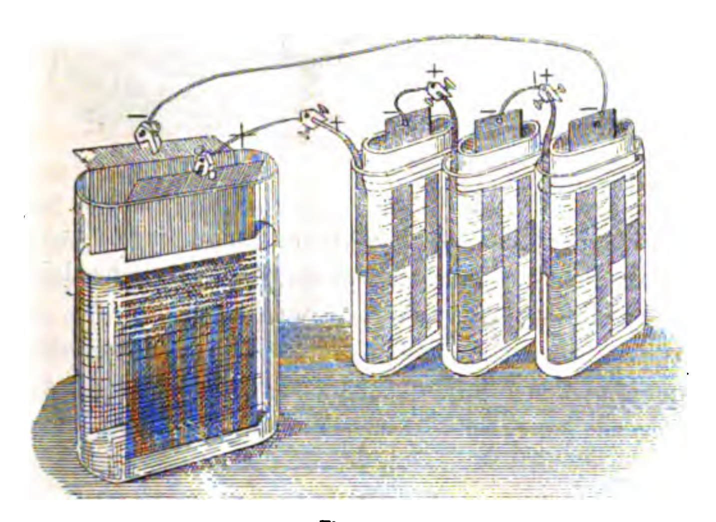


Fig. 2.

avec les deux pôles d'une source électrique (une pile, par exemple) capable d'électrolyser le liquide : aussitôt les produits de la décomposition se portent sur les deux plaques, qui deviennent ainsi les deux *électrodes* d'un *voltamètre*.

Rompons ensuite les communications avec la pile et relions les deux électrodes aux extrémités du fil d'un galvanomètre (fig. 3) : cet instrument accuse le passage d'un courant électrique appelé *courant secondaire*. Ce courant secondaire est la restitution d'une partie du *courant primaire* qui avait d'abord traversé le voltamètre.

Tout système composé d'un liquide électrolysable et de deux électrodes, est apte à fournir un *courant secondaire* après le passage d'un

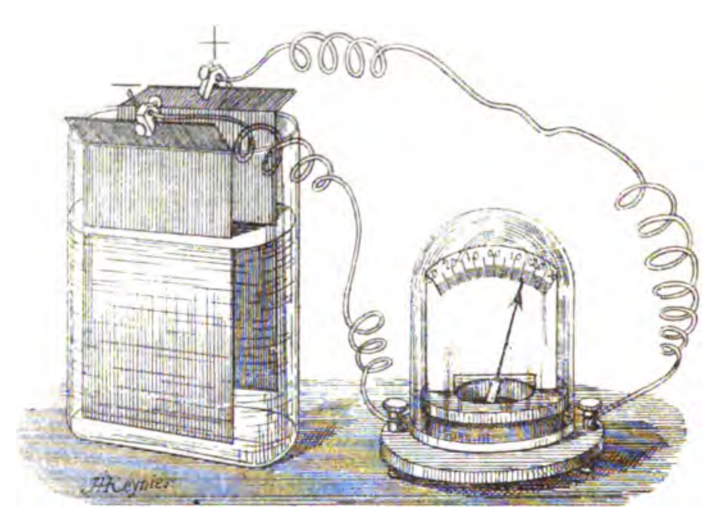


Fig. 3.

courant de *charge;* mais les nombreuses combinaisons qu'on peut ainsi former ne sont pas toutes également propres à le produire dans de certaines conditions d'*intensité* et de *rendement*.

Un *accumulateur* est un voltamètre capable d'*emmagasiner* une grande quantité d'énergie électrique et de la restituer, assez vite et sans trop grande perte, sous forme de courant secondaire.

Voltamètre plomb-plomb-eau acidulée sulfurique. — Tel est le système composé de deux lames de plomb, baignées dans l'eau acidulée sulfurique : c'est le voltamètre classique de M. Gaston Planté, origine du premier accumulateur voltaïque.

Si l'on ferme sur ce voltamètre le circuit d'une pile (fig. 2), l'eau acidulée est électrolysée. L'électrode négative, qui avait primitivement la couleur grise du plomb oxydé à l'air, prend la teinte plus claire du *plomb réduit* et bientôt nous voyons apparaître sur elle un dégagement d'hydrogène. En même temps, l'oxygène se fixe sur l'électrode positive, dont la surface se couvre de peroxyde de plomb. La peroxydation attaque plus rapidement la face interne, mais elle gagne aussi la face externe de l'électrode. Quand toute la surface est peroxydée, l'oxygène

commence à se dégager : ce phénomène indique que le voltamètre a pris toute la *charge* qu'il peut recevoir.

Ainsi *chargé*, le voltamètre peut fonctionner comme un couple voltaïque ordinaire, mais pendant un temps très court. Le *pôle positif* de ce couple est l'électrode primitivement reliée au positif de la source, ou *électrode positive ;* son *pôle négatif* est, par conséquent, l'électrode opposée ou *électrode négative*, liée au pôle négatif de la source électrique pendant la charge. Si l'on ferme le circuit de ce voltamètre chargé sur le fil d'un galvanomètre (fig. 3), il s'y *décharge* en faisant dévier l'aiguille. Pendant la décharge, nous voyons l'électrode négative s'assombrir, tandis que la positive s'éclaircit un peu.

La double réaction chimique qui se révèle ainsi est la fixation d'un équivalent d'acide sulfurique sur chaque électrode, avec transport d'un équivalent d'oxygène de la positive à la négative :

$$(1) \quad \underset{\text{Électrode positive}}{Pb\,O^2} + \underset{\text{Électrode négative}}{Pb} + 2\,SO^3,\ Aq = \underset{\text{Électrode positive}}{SO^4\,Pb} + \underset{\text{Électrode positive}}{SO^4\,Pb} + Aq$$

Quand on charge de nouveau le voltamètre, les réactions chimiques se produisent en sens inverse, pour ramener le sulfate de plomb à l'état de plomb réduit d'une part, de plomb peroxydé de l'autre ; mais cette seconde charge intéresse une plus grande quantité de matières, parce que le plomb et le peroxyde (régénérés du sulfate) se présentent sous un état pulvérulent, perméable, qui permet à l'action électrolytique d'atteindre le plomb sous-jacent et de pénétrer plus profondément, surtout du côté peroxydé.

Ainsi, à chaque nouvelle charge l'action chimique gagne en profondeur. Il en résulte un *accroissement* correspondant de la capacité d'accumulation. M. Gaston Planté a donné à cet accroissement progressif le nom de *formation*.

Quand un voltamètre est profondément *formé*, il est capable d'une quantité d'électricité assez grande : il mérite alors le nom de *couple secondaire* ou *accumulateur*.

La *formation* marche plus vite du côté positif que du côté négatif : d'où l'utilité de *retourner* de temps en temps l'accumulateur, c'est-à-dire d'intervertir ses communications avec la source, pour changer le sens de la charge. M. Gaston Planté, qui a créé de toutes pièces l'accumulateur à électrodes de plomb, a indiqué comment on peut obtenir une

formation poussée loin au moyen de charges, décharges, retournements et repos pratiqués méthodiquement [1].

La *force électromotrice utilisable* des accumulateurs Planté est 1,86 volt environ.

Un accumulateur chargé fonctionne comme une pile primaire. Les lois physico-chimiques relatives aux couples voltaïques sont donc applicables aux accumulateurs.

Avec ces notions générales, nous pouvons commencer la revue des *accumulateurs* connus, en donnant aux piles secondaires de M. Gaston Planté la place qui leur appartient historiquement, c'est-à-dire la première.

II

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Accumulateurs Planté : plomb-plomb-eau acidulée sulfurique. — Sous sa forme usitée de couple en spirale, l'accumulateur classique de M. Planté est tellement connu qu'il suffira d'en rappeler l'aspect (fig. 4).



Fig. 4.

Il importe de citer un autre agencement que M. Planté donna

1. *Recherches sur l'Électricité*, pages 53 et suivantes.

jadis[1] à sa pile secondaire : c'est la disposition à *lames parallèles alternées*, qui a été adoptée dans la plupart des accumulateurs électriques construits depuis lors.

« Les lames, très rapprochées les unes des autres et séparées, dans leur milieu, par des baguettes isolantes, étaient disposées verticalement dans un vase de gutta-percha, de forme rectangulaire, et muni de rainures intérieures pour maintenir les lames de plomb parallèles[2]. »

Les figures 5 (plan) et 6 (élévation) représentent ce modèle d'accu-

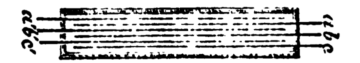


Fig. 5.

mulateur. Les lames positives se prolongent en *a*, *b*, *c*; les négatives en *a'*, *b'*, *c'*. Les premières sont reliées à la borne P, les secondes à la borne P'.

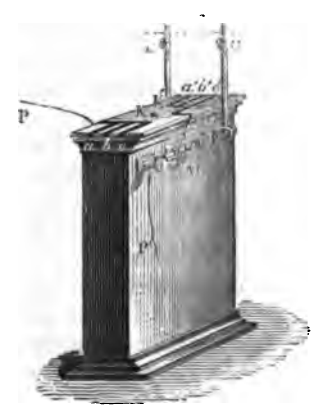


Fig. 6.

Les fils de la pile primaire viennent s'attacher en P et P'. B et O sont des pinces entre lesquelles on peut serrer des fils métalliques ; elles communiquent respectivement avec P et P' ; un commutateur M permet d'interrompre ou de rétablir le courant de décharge.

Pendant fort longtemps, M. Planté a *formé* ses accumulateurs de la manière que j'ai sommairement indiquée tout à l'heure. Ce procédé long et coûteux est presque impraticable industriellement. Les efforts

1. 1868.
2. *Recherches sur l'Électricité*, pages 37 et suivantes.

des inventeurs qui, après M. Planté, tentèrent d'améliorer les accumulateurs, ont eu surtout pour objet d'abréger et de consolider la *formation*. Il convient de rappeler d'abord les moyens que M. Planté a lui-même préconisés.

Le célèbre physicien a essayé le *chauffage* des couples :

« ... cette élévation de température a pour effet, en dilatant les pores métalliques du plomb (lames métalliques) de faciliter la pénétration de l'action électrolytique, c'est-à-dire la peroxydation profonde de la lame positive, et, par suite, la réduction à la même profondeur, de la lame négative oxydée par une action antérieure. Elle facilite aussi, par le contraste du refroidissement qui lui succède, l'agrégation cristalline du peroxyde de plomb et du plomb réduit, qui constitue un état favorable à la production du courant secondaire, et à la conservation de la charge produite.

« On abrège ainsi très notablement le temps de formation des couples secondaires, tout en leur conservant les qualités qui les rendent propres à de nombreuses applications [1]. »

Le chauffage des couples n'a peut-être pas satisfait M. Planté ; car il a, un an après, proposé un autre moyen d'accélérer la formation :

« Ce procédé consiste à soumettre simplement les couples secondaires à une sorte de décapage profond par l'acide azotique, étendu de moitié son volume d'eau, en les laissant immergés dans ce liquide pendant vingt-quatre à quarante-huit heures. Les couples sont ensuite vidés, lavés très complètement, remplis d'eau acidulée au dixième par l'acide sulfurique, et soumis à l'action du courant primaire. Par cette immersion dans l'acide nitrique, une portion du plomb se dissout sans doute, mais l'épaisseur des lames n'en est pas notablement diminuée, et, par suite de la porosité métallique, l'action chimique ne se borne pas seulement à la surface des lames de plomb; elle s'exerce aussi à l'intérieur, crée de nouveaux intervalles moléculaires et facilite, en conséquence, la pénétration ultérieure de l'action électrolytique du courant primaire.

« Les couples secondaires ainsi traités peuvent fournir, en huit jours, après trois ou quatre changements de sens du courant primaire, des décharges de longue durée, alors que, sans l'action préalable de l'acide nitrique, ils ne pourraient donner qu'après plusieurs mois les mêmes résultats [2]. »

Ce procédé n'ayant pas que je sache été pratiqué en grand, il est difficile d'apprécier sa valeur industrielle.

Examinons maintenant les procédés de *formation* plus ou moins rapides employés par divers électriciens.

La *formation* consiste à rendre accessible à l'électrolyse un certain

1. Gaston Planté brevet 144101, du 25 juillet 1881.

2. Gaston Planté. *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, 28 août 1882.

poids de chaque électrode. La capacité voltaïque d'un accumulateur est proportionnelle aux poids des matières *intéressées* et par conséquent aux volumes de métal accessibles.

On peut obtenir le volume nécessaire :

1° En développant beaucoup la surface des électrodes : il suffit alors d'une faible épaisseur pour constituer la masse à obtenir. C'est la *formation en surface* qui a donné naissance aux accumulateurs à *lames très minces*, à *fils de plomb*, à *grenaille de plomb* ;

2° En constituant d'emblée des électrodes de plomb profondément perméables : on intéresse ainsi le volume de plomb voulu sans développer énormément la surface extérieure : c'est la *formation en profondeur*, réalisée dans les accumulateurs à *oxyde de plomb*, à *sulfure de plomb* ou à électrodes en *plomb allié* rendues poreuses par l'extraction du métal auxiliaire.

III

ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ FORMÉS EN SURFACE

Accumulateurs à plomb laminé très mince. — Un kilo de plomb laminé à l'épaisseur de 1 millimètre développe une surface de 18 décimètres carrés. La surface est inversement proportionnelle à

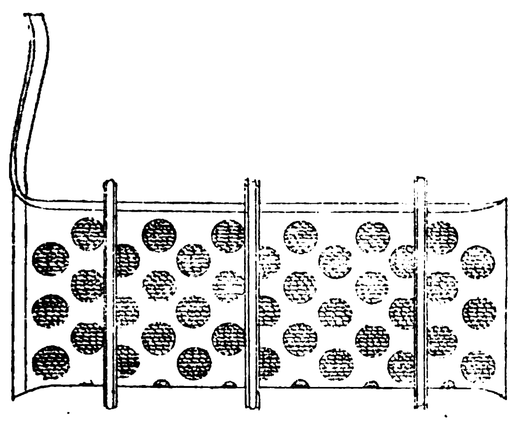


Fig. 7.

l'épaisseur. Ainsi du plomb de 1/10 de millimètre d'épaisseur développe 180 décimètres carrés par kilo.

Sur ce principe sont basés les accumulateurs de Méritens et de Kabath. Ces derniers seuls sont entrés dans la pratique.

M. de Kabath fabrique ses électrodes avec des rubans de plomb très minces superposés horizontalement dans une cage de plomb étroite (fig. 7) ; toutes ces bandes sont mises en contact avec la cage par une compression énergique exercée sur les bords verticaux du cadre. Pour empêcher les rubans de se recouvrir et de se masquer entre eux, l'inventeur a pris soin d'en *onduler* un sur deux : d'où le nom d'accumulateurs *gaufrés*.

Un coup d'œil jeté sur l'*accumulateur* (fig. 8) révèle son agencement.

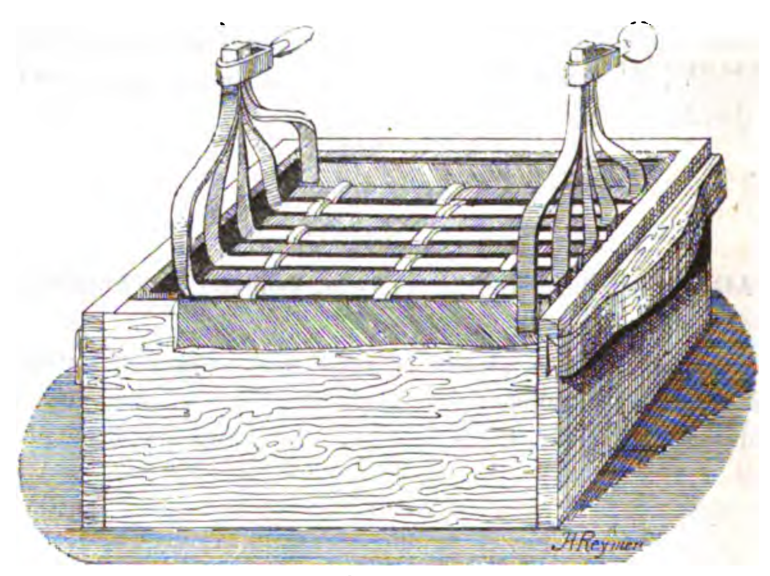


Fig. 8.

Le modèle le plus usité est celui de 30 kilos, dont le poids est réparti ainsi :

10 électrodes positives et négatives.............	21 kilos
Eau acidulée sulfurique à 1/10.................	6 —
Récipient....................................	3 —

La formation s'opère par le procédé Planté, c'est-à-dire par charges et décharges successives, avec quelques *retournements*. On accélère l'opération en ajoutant $\frac{1}{100}$ d'acide nitrique à la solution pendant les 200 premières heures.

D'après M. H. Fontaine, qui a expérimenté, avec le concours de

M. Gramme, les accumulateurs de Kabath, la formation progresse de la manière suivante :

après 75[h] de formation,	1[k] de plomb rend	750 kilogrammètres		
— 150[h]	—	—	1000	—
— 500[h]	—	—	2000	— (1)

Au delà de 500 heures, la capacité continuerait à augmenter par l'usage, à raison de 25 kilogrammètres par kilo de plomb pour 10 heures de charge au régime de 10 ampères [2]. Il ne faut considérer ce renseignement que comme une indication empirique.

Accumulateurs à fils de plomb. — Un kilo de plomb tréfilé au diamètre de 1 millimètre offre une surface de 35 décimètres carrés ; la surface développée par un poids donné de plomb tréfilé est en raison inverse du diamètre du fil.

J'ai fait autrefois un accumulateur genre Planté dont les électrodes étaient des cables en fil de plomb [3], dispositif offrant cet avantage que toutes les parties de l'électrode communiquent directement avec la prise extérieure du courant.

Les fils de plomb ont été employés aussi par M. Tommasi [4] et par MM. Arnould et Tamine.

M. Tommasi recouvre d'un épais réseau de fils de plomb, des plaques de plomb préalablement ondulées. Ces accumulateurs fonctionnent assez bien ; ils ont reçu quelques applications.

MM. Arnould et Tamine fixent leurs fils de plomb sur des chassis de même métal, au moyen de soudures autogènes. On n'a pas de renseignements numériques sur leurs modèles d'accumulateurs.

Accumulateurs à la grenaille de plomb. — Un kilo de plomb, fractionné en sphères de 1 millimètre de diamètre, développe une sur-

1. On sait que la puissance en kilogrammètres se calcule au moyen de la formule

$$W = \frac{QE}{g},$$

dans laquelle Q est la capacité en coulombs, et E la force électromotrice de l'accumulateur.

2. La *Revue Industrielle* du 5 septembre 1883.

3. Brevet français n° 142777, du 16 avril 1881, pris au profit de la Société « La Force et la Lumière. »

4. Brevet français du 7 octobre 1882, n° 151463.

face de 52 décimètres carrés. La surface est en raison inverse du diamètre des sphères; on obtient aisément des grenailles d'un diamètre bien inférieur à 1 millimètre.

La grenaille fine développe donc une surface énorme, mais chacun de ces grains si nombreux ne participerait efficacement aux actions voltaïques qu'à la condition d'être mis en communication électrique avec le pôle.

Le plomb en grenailles fines a été employé par M. d'Arsonval dans son *condensateur voltaïque*, que nous retrouverons parmi les accumulateurs au zinc.

IV

ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ FORMÉS EN PROFONDEUR

Accumulateurs Faure. — M. Faure a, le premier, obtenu des

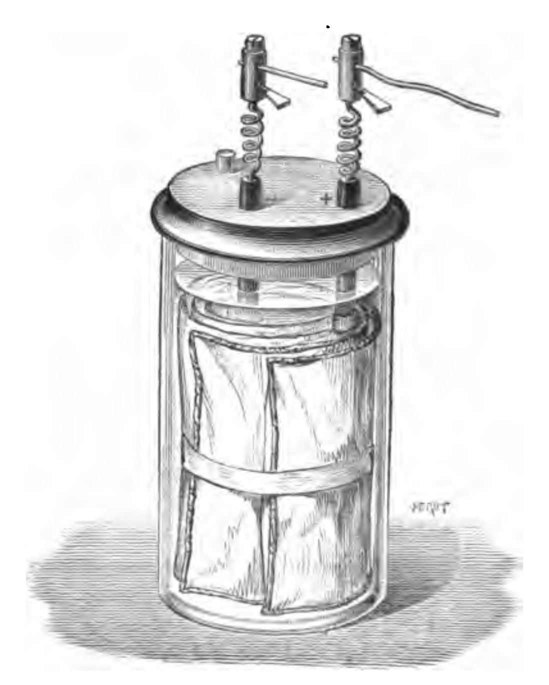


Fig. 9.

piles secondaires *formées d'emblée sans retournement.* Son procédé

consiste à recouvrir les électrodes d'une couche de minium ou d'un autre oxyde ou sel insoluble de plomb [1].

Dans sa première manière, M. Faure fixait le minium sur les électrodes par des cloisonnements de laine (feutre, flanelle, escot). Les électrodes ainsi préparées étaient placées côte à côte dans le récipient, ou bien posées l'une contre l'autre et roulées en spirale (fig. 9). La formation amenait les masses pulvérulentes à l'état de croûtes solides, poreuses et conductrices, de plomb réduit et de peroxyde de plomb.

Plus tard, M. Faure a logé ses oxydes dans des alvéoles ménagées

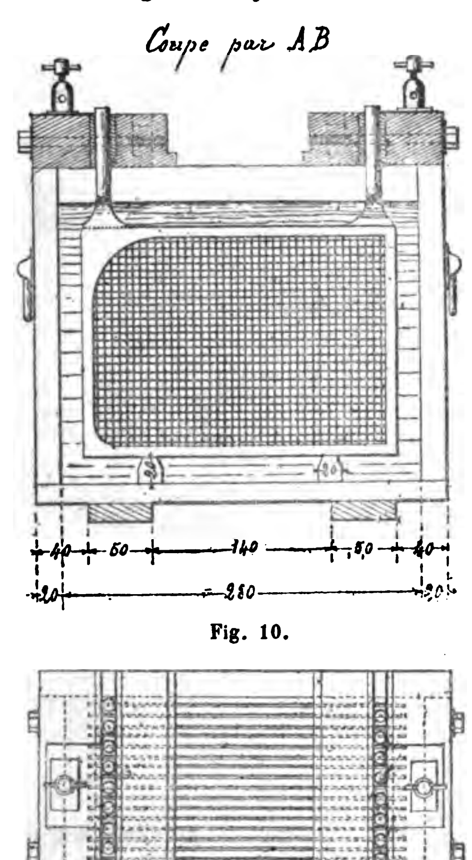


Fig. 10.

Fig. 11.

dans les électrodes. Cette disposition (fig. 10 et 11) est connue sous le nom de Faure-Sellon-Wolkmar.

1. Brevet français n° 139258, du 20 octobre 1880.

L'accumulateur Faure a eu des adversaires furieux et un défenseur têtu : l'attaque visait surtout des personnes ; la défense gardait un principe, celui de l'*accumulation voltaïque*, dont le système tant discuté fut la première manifestation vraiment industrielle. Cette polémique, aujourd'hui apaisée, n'a pas été stérile ; si la valeur pratique de l'accumulateur Faure est contestable, son importance historique ne saurait être méconnue.

Accumulateur Monnier[1]. — M. Denis Monnier, chimiste Vaudois, a inventé un système d'accumulateur genre Planté à formation

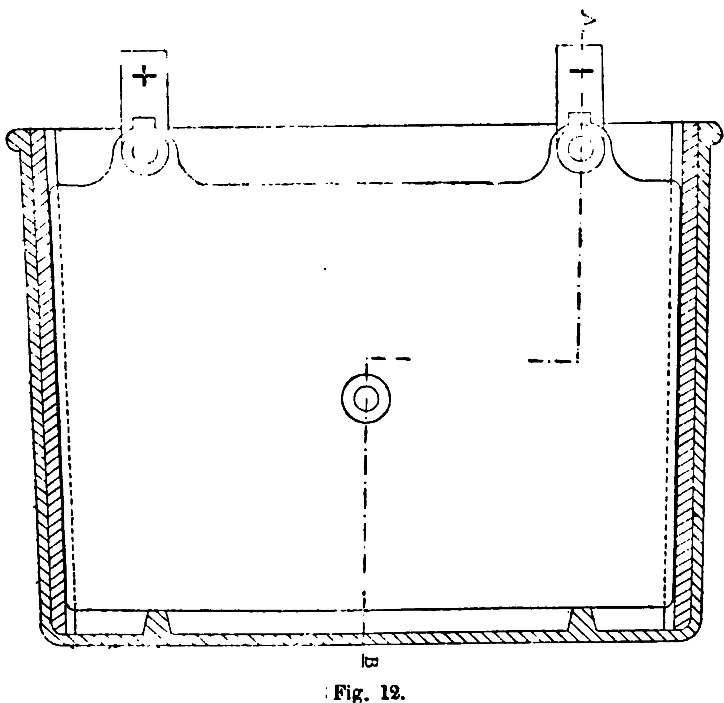


Fig. 12.

profonde, que j'ai vu fonctionner en janvier 1882 dans les ateliers de la *Société Genevoise de constructions mécaniques.*

Pour donner rapidement aux électrodes une structure perméable, l'inventeur allie le plomb qui les constitue à un autre métal destiné à être éliminé ultérieurement. L'alliage le plus convenable semble être

1. Brevet français n° 152607, du 13 décembre 1882.

celui de plomb et zinc; on le coule dans des moules et l'on obtient aussitôt des électrodes de la forme voulue. Il suffit d'en extraire le

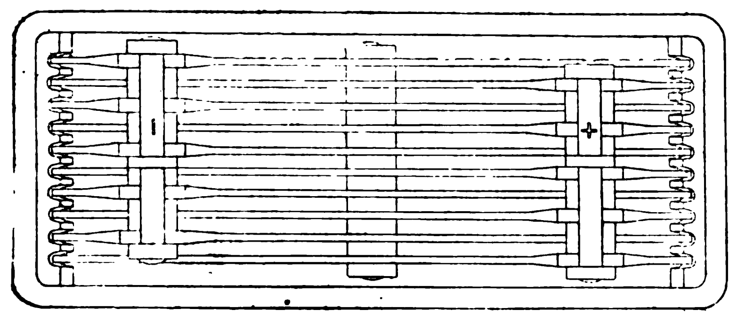


Fig. 13.

zinc pour en faire des plaques poreuses qui se laissent atteindre profondément par l'électrolyse.

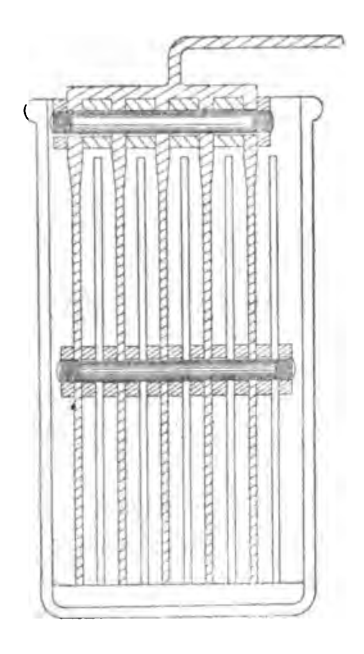


Fig. 14.

Des lavages dans une lessive caustique et dans l'eau acidulée sulfurique enlèvent la plus grande partie du zinc. Le reste s'élimine par la *formation*.

Le courant électrique forme sur les plaques positives du peroxyde de plomb insoluble et du sulfate de zinc qui se dissout; il faut renouveler souvent le liquide et faire plusieurs *retournements*.

L'accumulateur Monnier est représenté dans sa forme actuelle par les figures 12 (élévation), 13 (plan) et 14 (coupe selon AB fig. 12).

La formation de l'accumulateur Monnier est plus longue, plus laborieuse que celle de l'accumulateur Faure. Mais une fois formées, les plaques Monnier sont homogènes, solides et semblent promettre une longue durée. Les premiers essais étaient encourageants; je ne puis m'expliquer pourquoi cette invention est restée inexploitée et même inédite.

Accumulateur Schulze. — Les électrodes en plomb de cet accumulateur sont d'abord *sulfurées* par une addition de fleur de soufre qu'on chauffe à leur contact; puis on les soumet à la formation Planté. Le soufre, emporté par les gaz de l'électrolyse à l'état d'hydrogène sulfuré et d'acide sulfureux, laisse du plomb poreux. On n'a pas de renseignements numériques sur les couples secondaires formés par ce procédé.

V

ACCUMULATEUR MIXTE

Les artifices employés pour la formation des accumulateurs Planté ne sont indispensables que pour l'électrode réduite. Un positif Planté se forme assez vite et sans retournements s'il est mis en présence d'un négatif à formation rapide, un négatif Faure par exemple. J'ai autrefois essayé cette combinaison [1] avec le concours de la Société Genevoise de constructions mécaniques.

L'appareil a été étudié au point de vue d'une construction facile, rapide et économique.

Le récipient de l'accumulateur (fig. 15) est une auge de plomb rectangulaire, formée d'une feuille de plomb laminé dont les bords sont

1. Décembre 1882.

relevés sans soudure ; elle est soutenue par une caisse de bois AA, à bords très bas. L'auge de plomb, dont le fond est recouvert de minium *m m*, constitue l'électrode négative de l'accumulateur. Une



Fig. 15.

bande de cuivre N y est soudée extérieurement pour recevoir la presse du contact.

L'électrode positive (fig. 17) est constituée par une longue bande de plomb, plissée et fendue selon tous ses plis, de manière à offrir sa surface presque entière à l'action électrolytique. Pour éviter qu'une formation profonde ne vienne couper cette électrode en une partie quelconque de sa longueur, on l'a renforcée en son milieu au moyen de deux plis superposés (fig. 16), *e f* venant se placer sur *c d* et *g h*

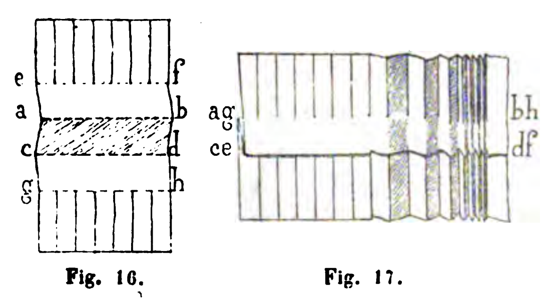


Fig. 16. Fig. 17.

sous a *b*. Après ce double pliage *en long*, la bande est plissée *en travers ;* puis tous les plis transversaux sont fendus depuis l'arête médiane jusqu'au bord. Un des bouts de l'électrode émerge du liquide; à cette partie est soudée une bande souple de cuivre sur laquelle est fixée la presse P.

Les deux électrodes sont séparées l'une de l'autre latéralement par des lames de verre V V V, et au fond par 3 tasseaux longitudinaux solidarisés par 3 semelles transversales.

Les accumulateurs sont superposés en étagères (fig. 18) et reliés entre eux de la manière ordinaire.

Ce modèle est économique de fabrication et d'entretien : il ne com-

porte que du plomb, du minium, du bois et de l'acide sulfurique ; la

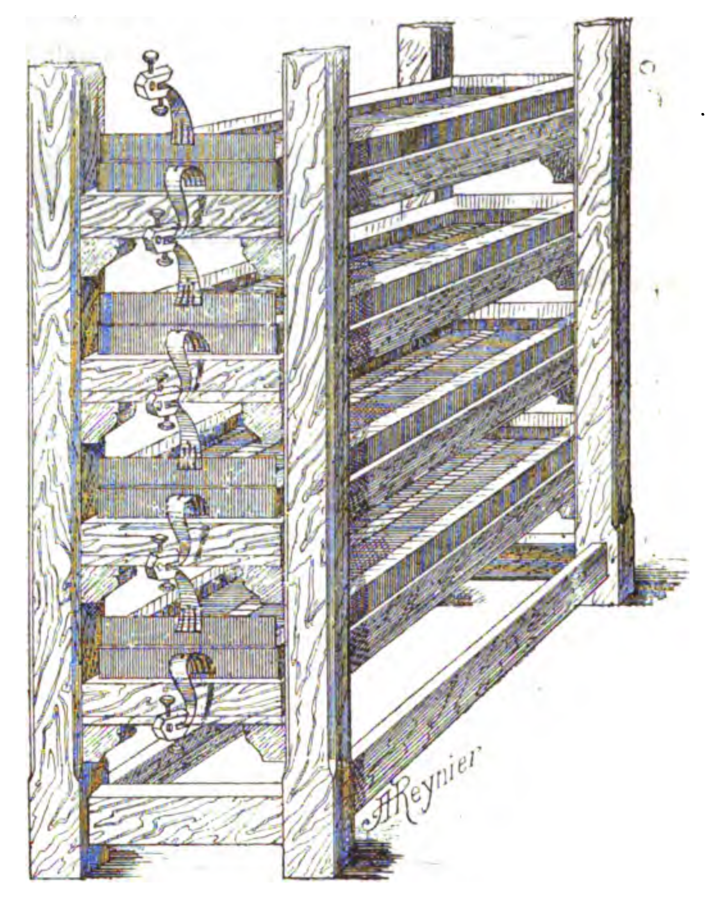


Fig. 18.

main-d'œuvre y est réduite à peu de chose et le renouvellement du positif y est aussi facile que peu dispendieux.

Soixante de ces couples ont servi pendant plusieurs mois à l'éclairage des *Bouffes* de Genève.

VI

ACCUMULATEURS A ÉLECTRODE NÉGATIVE SOLUBLE

On va maintenant étudier les accumulateurs constitués par un négatif soluble en présence d'un positif insoluble.

La solubilité du négatif dispense de lui donner une structure poreuse, puisque sa surface est sans cesse avivée, pendant la décharge, par la dissolution du métal. Ce *genre* d'accumulateurs ne comprend jusqu'à présent que deux *espèces :* l'accumulateur à positif Planté et *négatif zinc* et l'accumulateur à positif Planté et *négatif cuivre;* la première seule a une importance industrielle.

Avant de décrire les divers modèles d'accumulateurs au zinc, il faut les étudier théoriquement sous la forme élémentaire de *voltamètre.*

Voltamètre au sulfate de zinc. — Revenons au voltamètre à lames de plomb qui nous a déjà servi (fig. 1), mais ajoutons du sulfate de zinc à l'eau acidulée qui le garnit.

Si l'on met ce voltamètre dans le circuit de la pile de charge (fig. 2), on voit bientôt la lame positive prendre la couleur *puce* du peroxyde de plomb, tandis que la négative se couvre de zinc pur.

2 équivalents de sulfate de zinc sont électrolysés, 2 équivalents de zinc se déposent sur l'électrode négative, 2 équivalents d'anhydride sulfurique sont mis en liberté et 2 équivalents d'oxygène se fixent sur l'électrode positive.

La réaction se poursuit jusqu'à l'entière peroxydation superficielle de l'électrode positive. L'oxygène commençant alors à se dégager, il est temps d'interrompre la charge.

Décharge-t-on le voltamètre sur un galvanomètre à fil fin (fig. 3), on

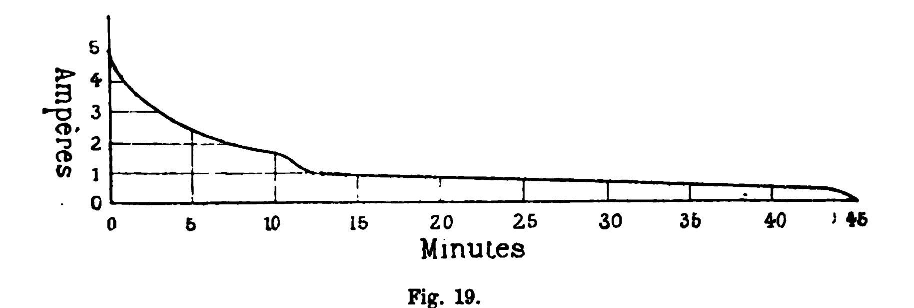


Fig. 19.

remarque un phénomène singulier : l'intensité du courant baisse d'abord avec lenteur, puis elle tombe brusquement à une valeur 4 fois moindre que celle de l'intensité initiale ; elle se maintient longtemps à cette deuxième valeur avant de choir vers 0. (Voir la courbe de la décharge, fig. 19.)

Ces deux phases bien tranchées de la décharge correspondent à deux séries d'actions chimiques distinctes.

Pendant la première phase, on a :

$$(2)\quad \underset{\text{Électrode positive}}{PbO^2} + \underset{\text{Électrode négative}}{2\,Zn} + 3SO^3, Aq = \underset{\text{Électrode positive}}{SO^4\,Pb} + \underset{\text{Électrode négative}}{SO^4\,Zn} + Zn + SO^3, Aq.$$

Il y a sulfatation des deux électrodes avec transport d'un équivalent d'oxygène de l'électrode positive à l'électrode négative. La force électromotrice correspondant à cette première phase est supérieure à 2 volts.

Pendant la deuxième phase, on a :

$$(3)\quad \underset{\text{Électrode positive}}{SO^4Pb} + \underset{\text{Électrode négative}}{\underbrace{SO^4Zn + Zn + SO^3}}, Aq = \underset{\text{Électrode positive}}{\underbrace{Pb + SO^4H}} + \underset{\text{Électrode négative}}{2SO^4Zn} + Aq.$$

Il y a sulfatation d'un second équivalent de zinc à l'électrode négative, avec transport d'un équivalent d'hydrogène de cette lame sur le sulfate de plomb positif, qui se résout en plomb métallique et acide sulfurique.

La force électromotrice correspondant à cette deuxième phase est inférieure à 0,75 volt.

Les choses étant en cet état, si l'on charge à nouveau le voltamètre, la quantité d'électricité emmagasinée sera plus grande que la première fois, parce que le plomb positif, d'abord *peroxydé*, par la charge, puis *sulfaté* par la première partie de la décharge, est finalement redevenu métallique à l'état grenu. Il est apte alors à se laisser peroxyder plus profondément par la deuxième charge ; il y a *formation*.

Je reviendrai là-dessus en parlant des *accumulateurs* au zinc proprement dits. Ce qu'il faut remarquer, dès à présent, c'est cette propriété de la combinaison étudiée de réduire finalement, par une décharge complète, le peroxyde de plomb en *plomb métallique perméable ;* propriété qui permet de *former* les accumulateurs au zinc rapidement et *sans retournement.*

VII

ACCUMULATEURS AU ZINC

Condensateur voltaïque à la grenaille de plomb. — Le premier en date parmi les accumulateurs au zinc est le condensateur voltaïque de M. d'Arsonval [1].

Ce couple (fig. 20) affectait la forme d'une pile ordinaire à vase

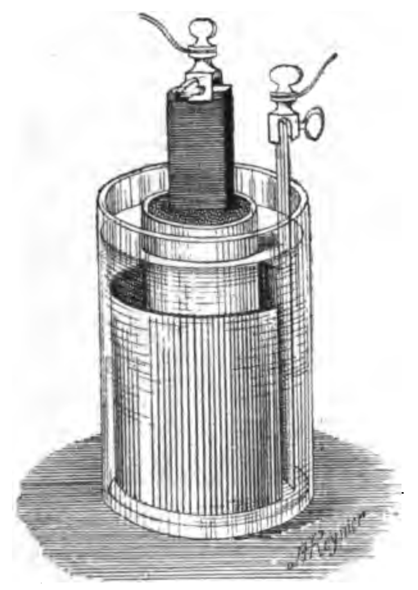


Fig. 20.

poreux. Le zinc est à l'extérieur; l'électrode positive, placée au centre, est une lame de charbon entourée de grenaille de plomb très fine.

Dans un autre dispositif, dont la forme n'a pas été décrite, le zinc électrolytique était reçu sur du mercure.

Le condensateur voltaïque ne pouvait pas avoir une grande capacité d'accumulation, ni un gros débit, ni une longue durée. Il ne paraît pas que l'inventeur ait tenté d'améliorer cet appareil, dont le principe était bon.

1. *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, 26 janvier 1880.

Accumulateurs au zinc. — Mes expériences de Genève (décembre 1882) ayant démontré l'efficacité des positifs Planté à grande surface, je cherchai, peu de temps après, à les combiner avec un négatif soluble en *zinc* ou en *cuivre*. La première ébauche de ce système a été exécutée à Nantua. L'accumulateur se composait d'un positif en plomb plissé, ajouré et renforcé sur ses bords, d'un négatif en plomb lisse et d'une cage d'osier séparant les deux électrodes. Le tout plongeait dans un récipient de bois, rempli d'eau acidulée sulfurique saturée de sulfate de zinc.

On a bien vite reconnu que les accumulateurs au zinc, montés comme il vient d'être dit, ne gardaient pas longtemps leur charge. Ce grave

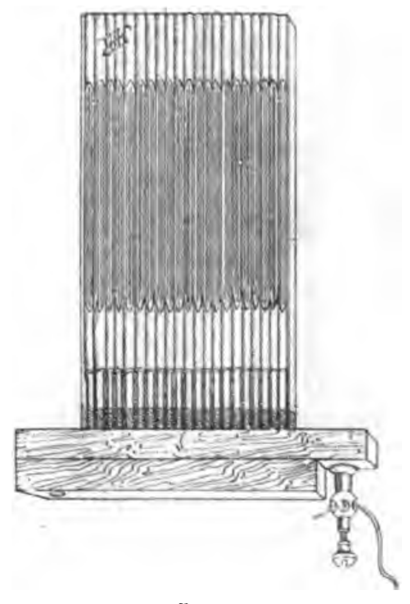


Fig. 21.

défaut provenait non seulement de l'attaque locale du zinc en circuit ouvert, mais encore de *dérivations* donnant lieu à des décharges parasites : dérivations intérieures fermées par les débris oxydés ou réduits détachés des électrodes et tombés entre elles ; dérivations extérieures par les contacts que les récipients forment entre eux ou avec le sol, ces *bennes* en tonnellerie se laissant toujours pénétrer un peu par le liquide très conducteur qui les garnit.

On a corrigé ces défauts dans les modèles actuels en renonçant aux

récipients en bois simple et en *suspendant* les électrodes à plusieurs centimètres au-dessus du fond.

Les accumulateurs sont composés d'un certain nombre d'*électrodes positives* plissées et ajourées (fig. 21), alternées avec des *négatives* en plomb lisse, dont elles sont séparées par des tubes de verre verticaux. Les électrodes positives sont reliées entre elles en dehors du liquide, les négatives étant d'autre part réunies entre elles de la même manière. On fait des accumulateurs à *un positif*, à *deux positifs*, à *quatre positifs* (fig. 22).

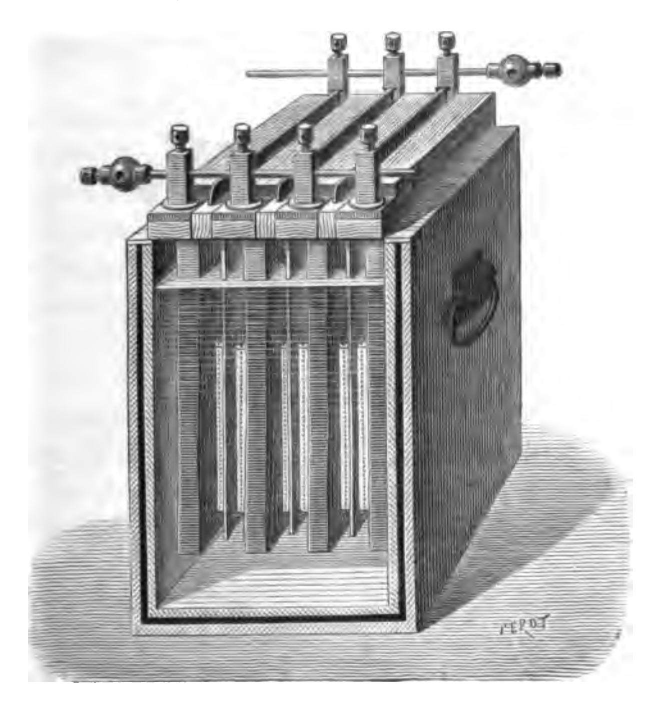


Fig. 22.

Les positifs, devenus plus fragiles à mesure que la *formation* pénètre davantage, se fatiguent beaucoup moins étant suspendus que s'ils pesaient sur eux-mêmes au fond du récipient ; leur durée en est accrue. Le remplacement est d'ailleurs très facile et ne comporte pas d'autres frais que le prix de la plaque à changer, dont la valeur intrinsèque compense partiellement le prix.

Quant aux plaques négatives, elles continuaient à être le siège d'une action locale trop grande encore, bien qu'atténuée.

On a réussi à la diminuer par des amalgamations fréquentes; mais ce moyen n'est guère pratique. Une addition de mercure liquide aurait aussi plusieurs inconvénients.

Tout récemment j'ai réussi à obtenir une amalgamation efficace du zinc par un procédé simple. Chaque électrode négative est garnie d'un morceau d'amalgame solide de zinc et de mercure, aussi riche que possible en ce dernier métal.

L'électrode en plomb est repliée de manière à former une sorte de poche (fig. 23) dans laquelle est retenu le morceau d'alliage. Ceci

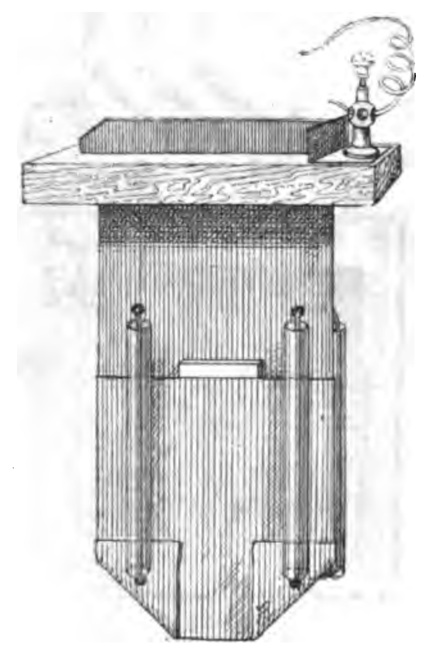


Fig. 23.

dispense d'ajouter un sel ou un oxyde de zinc à l'eau acidulée de la batterie, opération qui compliquait son montage.

Voici comment les choses se passent dans un accumulateur monté avec ces négatifs chargés d'alliage.

A la première *charge*, l'électrode positive se peroxyde; les surfaces négatives se décapent, puis laissent dégager de l'hydrogène. Quand l'oxygène libre apparaît au positif, on cesse la charge et l'on fait une première *décharge complète*, qui présente les deux *phases* déjà observées sur le voltamètre à sulfate de zinc. Dans la première, il y a *sulfa-*

tation des deux électrodes ; dans la seconde, le zinc *en excès* continue à se dissoudre et l'hydrogène libéré va réduire le sulfate de plomb en acide sulfurique et plomb métallique perméable. Cette première opération a donc pour résultats : 1° d'introduire du zinc dans la liqueur ; 2° de libérer une quantité correspondante de mercure qui amalgame lentement l'électrode négative ; 3° de faire passer à l'état perméable le plomb positif intéressé dans la première charge.

Dans la charge suivante, l'oxygène électrolytique atteindra une seconde couche de plomb à travers la première ; ces deux couches, complètement réduites par la deuxième décharge, seront perméables à la troisième charge, qui atteindra une troisième couche..... et ainsi de suite.

En même temps, la liqueur s'enrichit en zinc et le dégagement d'hydrogène sur l'électrode négative fait place à un dépôt de zinc pur. Ce zinc s'attache à une surface de plomb déjà couverte de mercure ; il achève de s'amalgamer par le mercure successivement libéré à chaque nouvelle décharge.

Ainsi, pendant que la formation positive gagne en profondeur, la formation négative s'épaissit de couches successives de zinc fortement amalgamé. Cette double opération s'accomplit *sans retournement* et avance avec rapidité.

Une formation si prompte amènerait vite la ruine de l'électrode positive, si l'on n'avait un moyen de l'enrayer. Les conditions mêmes de l'emploi pratique de l'accumulateur nous fournissent ce moyen.

Examinons la courbe des intensités du courant secondaire correspondant à la décharge complète d'un accumulateur au zinc (fig. 24).

Après une petite diminution qui se produit pendant les premières minutes de la décharge, la force électromotrice se maintient longtemps constante aux environs de 2, 36 volts. C'est la *première phase*, celle qui constitue la *décharge normale*, la décharge *utilisable*.

Les réactions chimiques correspondantes sont exprimées par l'équation :

(4) $$\underset{\text{Électrode positive}}{PbO^2} + \underset{\text{Électrode négative}}{Zn} + 2SO^3, Aq = \underset{\text{Électrode positive}}{SO^4 Pb} + \underset{\text{Électrode négative}}{SO^4 Zn} + Aq.$$

La fin de la décharge utilisable est marquée par une chute assez brusque de la force électromotrice, qui s'abaisse vers 0, 65 volt et se

maintient longtemps à cette valeur. C'est la deuxième *phase*, celle

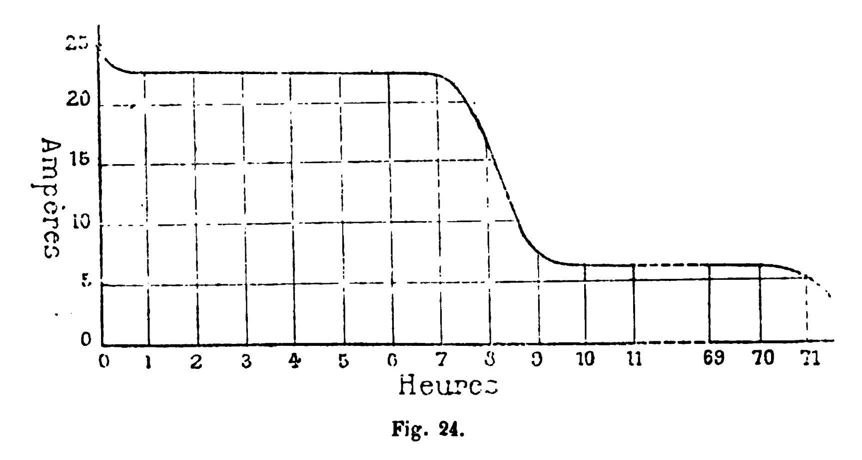


Fig. 24.

qui constitue la décharge *inutilisable*, la décharge de *formation*, dont les réactions chimiques se formulent ainsi :

(5) $\underset{\text{Électrode positive}}{SO^4\,Pb} + \underset{\text{Électrode négative}}{Zn} + SO^3, Aq = \underset{\text{Électrode positive}}{Pb} + SO^4\,H + \underset{\text{Électrode négative}}{SO^4\,Zn} + Aq.$

Le diagramme des intensités est une courbe caractérisée dont les deux portions principales se distinguent aisément. La courbe des forces électromotrices affecte la même allure : il est impossible de confondre les deux phases.

Dans la pratique, on est forcé d'arrêter la décharge à la fin de la première période, parce que le courant, devenant 4 fois moins intense, serait incapable d'accomplir son travail normal. La prolongation de la décharge ne sera donc pratiquée qu'en connaissance de cause, tant qu'il sera utile de faire progresser la *formation*.

Les accumulateurs Faure et les accumulateurs au zinc sont jusqu'ici les seuls qu'on puisse *former sans retournement*. Cette propriété a une grande importance pratique, car elle permet de livrer les couples neufs ou incomplètement formés : d'où économie et célérité dans la fabrication.

Un accumulateur formé est toujours un peu fragile ; on l'expédie avec moins de risques quand il est neuf. Il faut aussi considérer que le temps de la formation est prélevé sur la durée totale de l'accumulateur. Si un couple vieux donne tout de suite des résultats plus complets, un couple jeune promet une plus longue vie.

VIII

ACCUMULATEURS AU CUIVRE

Le premier accumulateur au cuivre paraît avoir été proposé par M. Sutton (1882), qui donnait à son appareil la disposition en spirale depuis longtemps employée dans la construction des piles Planté.

Les accumulateurs au zinc peuvent être transformés en accumulateurs *au cuivre*, par la substitution du sulfate de cuivre au sulfate de zinc.

La force électromotrice des accumulateurs au cuivre est 1,24 volt seulement.

La décharge ne comprend qu'une phase, car le cuivre ne peut réduire le plomb sans l'intervention d'une énergie étrangère. On est donc privé ici du moyen de formation rapide qui est l'un des avantages de l'accumulateur au zinc.

Aussi coûteux et beaucoup moins énergique que ce dernier, l'accumulateur au cuivre ne pourra trouver d'applications industrielles que dans des cas particuliers.

Cette liste d'accumulateurs ne manquera pas de s'allonger beaucoup ; mais elle présente déjà assez de variété pour permettre une première tentative de généralisation. Je vais m'y essayer dans l'étude des *propriétés* des batteries secondaires, qui s'offre maintenant à nous.

IX

CAPACITÉ DES ACCUMULATEURS

Les notions que nous possédons sur les trois systèmes d'accumulateurs étudiés nous permettent d'établir par le calcul les poids qu'il faut théoriquement donner à chacun des éléments constituants d'un couple secondaire pour emmagasiner une certaine quantité de travail sous forme d'*énergie électrochimique*. En majorant convenablement ces *poids théoriques*, on obtient les *poids pratiques*.

Le poids P engagé pour 270 000 kilogrammètres (un cheval-heure), et pour chacun des corps intéressés, est donné par la formule :

$$(6) \qquad P \text{ (en grammes)} = \frac{9,8}{E \text{ (en volts)}} \times n \times \varepsilon \times 270000$$

dans laquelle E est la force électromotrice du couple, *n* le nombre d'équivalents engagés et ε l'*équivalent électrochimique* du corps considéré. Une majoration opérée sur ces poids théoriques P, donne les poids pratiques des *matières actives*, auxquels poids il faut ajouter celui du récipient et des accessoires de construction.

J'ai fourni ailleurs [1] le détail et la justification de ces calculs dont je ne rapporterai ici que les résultats.

Le poids du *cheval-heure électrique* DEVRAIT *être :*

pour les accumulateurs	genre Planté	....	22 kilos
—	—	au zinc	18 —
—	—	au cuivre	33 —

Les constructeurs n'ont pas encore pu réussir à atteindre cette limite de légèreté. L'expérience donne les poids suivants :

pour l'accumulateur	Planté, modèle en spirale [2] (fig. 4)		180 kilos
—	—	Faure ancien modèle [3] (fig. 9)....	90 —
—	—	Faure modèle à cellules [4] (fig. 10).	61 —
—	—	au zinc à quatre positifs [5] (fig. 22)	40 —

Le cheval-heure électrique dont il est question ici comprend le travail total développé par la décharge *normale* complète, dans l'ensemble des circuits intérieur et extérieur.

X

RENDEMENT DES ACCUMULATEURS

On a beaucoup discuté, sans l'éclaircir, l'importante question du *rendement* des accumulateurs. Les difficultés proviennent, selon moi,

1. *Piles électriques et accumulateurs*, pages 139 et suiv.
2. Gaston Planté.
3. Émile Reynier.
4. French Electrical Power Storage C°.
5. A. Simmen.

d'une confusion persistante entre le *rendement final* et le *rendement propre*.

Je crois qu'on parviendrait à se comprendre, sinon à se mettre d'accord, en distinguant nettement ces deux acceptions du mot *rendement*.

Le *rendement propre* d'un accumulateur est le produit de deux facteurs élémentaires : le *coefficient de baisse*[1] et le *coefficient de restitution*.

Dans tous les accumulateurs, la force électromotrice secondaire est plus grande pendant la charge que pendant la décharge : d'où la nécessité de donner à la *source* une force électromotrice supérieure à celle qui sera ultérieurement utilisée pendant la décharge. Le rapport de la seconde force à la première est le *coefficient de baisse*.

Les accumulateurs ne prennent pas toute la charge qu'on leur donne ; ils ne conservent pas toute la charge qu'ils ont prise : des décharges parasites se produisent sans cesse, pendant le repos, pendant la décharge et même pendant la charge. Ces pertes tiennent à plusieurs causes : actions locales entre le liquide et les électrodes, dérivations dans l'accumulateur ou autour de lui, etc. Il en résulte que la *quantité* d'électricité (coulombs) restituée est moindre que celle fournie. Le rapport de la première *quantité* à la seconde est le *coefficient de restitution*.

En mesurant séparément le coefficient de baisse et le coefficient de restitution *dans les conditions les plus favorables* et en faisant ensuite le produit de ces deux facteurs, on obtient une fraction qui est le *rendement propre maximum* de l'accumulateur étudié.

Le *rendement pratique* est toujours inférieur au rendement propre maximum :

1° Parce que les régimes de charge et de décharge ont nécessairement une intensité assez considérable, circonstance qui abaisse les deux facteurs du *rendement propre ;*

2° Parce que le *rendement pratique* comporte d'autres coefficients de réduction INDÉPENDANTS DE L'ACCUMULATEUR.

Ces coefficients supplémentaires dépendent, quant à leur valeur et à leur nombre, d'un ensemble de circonstances spécial à chaque cas.

1. *Piles électriques et accumulateurs*, pages 112 et suiv.

S'il s'agit par exemple, d'un éclairage, les coefficients sont moins petits et moins nombreux que s'il s'agit d'une traction de véhicules. De sorte qu'avec les mêmes accumulateurs, ayant un seul et même *rendement propre maximum*, on aura deux *rendements pratiques* très différents.

Pour éviter la confusion, il faut donc renoncer à considérer le rendement final, qui est multiple et variable, et rechercher le *rendement propre maximum*, seul caractéristique.

D'où la nécessité de mesurer ses deux facteurs : le *coefficient de baisse* et le *coefficient de restitution*.

Coefficient de baisse. — Je l'ai mesuré sur les trois systèmes d'accumulateurs [1] et j'ai trouvé :

pour l'accumulateur	genre Planté	....	0,95
—	— au zinc	....	0,98
—	— au cuivre	....	0,87

Coefficient de restitution. — M. Planté [2] l'a mesuré sur son accumulateur, en comparant les poids de cuivre libérés par les courants de charge et de décharge : il a trouvé 0,885. J'adopterai provisoirement ce chiffre pour les accumulateurs du *genre Planté*.

Le coefficient de restitution de l'accumulateur au cuivre n'a pas été mesuré.

Pour l'accumulateur au zinc, j'ai trouvé anciennement des chiffres très faibles, à cause de la vive attaque locale du zinc par le liquide.

Récemment, j'ai mis en formation des accumulateurs au zinc pourvus de mes nouvelles électrodes négatives garnies d'alliage zinc et mercure : l'action locale est grandement diminuée ; mais je n'ai pas encore de chiffre à produire.

Notation du rendement propre maximum. — Le rendement propre maximum est donc connu seulement pour les accumulateurs du genre Planté, que je vais prendre pour exemple.

Je propose d'écrire le rendement propre maximum de cette manière :

$$\rho \text{ max.} < 0,95 \times 0,885$$

ou :

$$\rho \text{ max} < 0,84$$

1. *Piles électriques et accumulateurs*, pages 115 et suiv.
2. *Recherches sur l'électricité*, pages 84 et suiv.

Cette expression met en garde contre toute illusion en indiquant que le rendement propre maximum est une *limite* qu'on ne saurait atteindre pratiquement ; la forme d'*inégalité* qu'on lui donne affirme en même temps le caractère d'indétermination qu'il convient de laisser à une valeur que tant de facteurs variables viennent altérer.

Quant aux *rendements pratiques*, je pourrai tout à l'heure les indiquer approximativement pour des cas particuliers en passant la revue des *Applications*.

XI

RÉGIME DE CHARGE ET DE DÉCHARGE

L'intensité du *régime de charge* dépend : 1° de l'excès de la force électromotrice de la source sur celle de la batterie d'accumulateurs ; 2° de la résistance du circuit ; 3° de certains artifices de construction qui favorisent plus ou moins l'accès des produits électrolytiques sur les plaques.

L'intensité du régime de décharge dépend : 1° de l'excès de la force électromotrice de la batterie d'accumulateurs sur la différence du potentiel aux bornes du circuit exploité ; 2° de la résistance du circuit complet ; 3° des facilités d'accès dont il vient d'être question.

La résistance intérieure de l'accumulateur diminue et la facilité d'accès augmente avec le développement de la surface des électrodes. A poids égal, un accumulateur est capable de prendre des régimes de charge et de décharge d'autant plus intenses que les matières solides sont étalées sur de plus grandes surfaces. Mais il ne faut pas perdre de vue que l'amincissement exagéré des plaques les rendrait trop fragiles.

Selon que la question de solidité dominera la question de régime ou sera dominé par elle, on amincira moins ou plus les électrodes.

Enfin faut-il, dans l'usage, considérer que les régimes un peu lents fournissent les rendements finaux le plus élevés.

On obtient, dans des conditions acceptables de rendement final, des régimes de charge de 0,25 à 0,75 ampère et des régimes de décharge de 1 à 3 ampères *par kilogramme d'accumulateur.*

XII

CONSERVATION DE LA CHARGE

Les accumulateurs du genre Planté conservent la charge mieux que ceux au zinc.

On admet qu'un accumulateur genre Planté bien construit ne perd que 2 à 3 pour 100 de sa charge par vingt-quatre heures, en circuit ouvert. A la vérité, on manque de chiffres précis à cet égard.

Il semble qu'en opposant à une batterie d'accumulateurs au repos, une pile primaire résistante mais de force électromotrice supérieure, on doive atténuer la décharge spontanée [1]. Mais ce fait important n'a pas été authentiquement constaté.

XIII

DURÉE DES ACCUMULATEURS; AMORTISSEMENT

Les électrodes positives des accumulateurs actuels sont fatalement condamnées à la ruine, parce que la peroxydation tend à pénétrer un peu plus à chaque nouvelle charge.

La ruine des positifs ne peut qu'être retardée par certains artifices de construction et par le soin qu'on pourrait prendre de ne pas *surcharger* les accumulateurs.

Le remplacement des positifs pèse lourdement sur le coût du travail par accumulateurs. Le constructeur peut atténuer les frais en s'ingéniant à fabriquer économiquement ces électrodes et en les rendant *amovibles*, de telle manière que leur remplacement n'entraîne pas d'autre dépense qu'un coût de réfection peu élevé, augmenté de la différence de prix entre le métal neuf et le métal vieux.

1. Prospectus de la Société *Force et Lumière* à l'Exposition d'électricité, 1881.

Pour un accumulateur donné, la durée des positifs dépend du régime de travail et des conditions d'emploi; elle pourrait varier entre 4 mois (locomotives électriques) et 18 mois (éclairage à poste fixe). Par suite l'*amortissement* de la batterie, dont une fraction seule doit être fréquemment renouvelée, varierait entre 100 pour 100 et 25 pour 100 par an.

Étant connu le prix des accumulateurs, on pourra calculer approximativement le surcroît de dépense que leur amortissement impose à l'exploitation.

XIV

FORMULE DE MÉRITE

Pour choisir et employer avec discernement les accumulateurs destinés à un travail déterminé, l'ingénieur doit réunir les renseignements numériques dont il aura à tenir compte, savoir :

E, force électromotrice de l'accumulateur (volts);
R, résistance intérieure (ohms);
Q, capacité d'accumulation (coulombs);
I, intensité du courant de décharge soutenable sans fatigue (ampères);
i, intensité du courant de charge avec bonne utilisation (ampères);
$\frac{EI}{g}$, travail normal par seconde (kgm.);
$\frac{QE}{g}$, travail emmagasiné (kgm.);
Coefficient de baisse;
— de restitution;
Rendement propre maximum;
Poids;
Prix;
Prix correspondant à 270000 kgm. (cheval-heure).

Si l'on doit faire un choix entre plusieurs systèmes, on pourra, à l'aide de ces renseignements, dresser la *formule de mérite* de l'accumulateur, en chiffrant par estimation l'importance de chacun des termes de la formule, eu égard à l'application spéciale qu'on a en vue.

Ainsi cet engin qu'on regarde avec une certaine méfiance parce qu'on le connaît mal, devient un outil ordinaire, un appareil dont on peut raisonner le fonctionnement, réglementer l'emploi et chiffrer le mérite.

que son *travail minimum;* les accumulateurs permettraient d'exploiter *son travail moyen;*

Avec eux les *forces intermittentes* deviendraient exploitables, tandis que le transport direct n'en peut guère tirer parti.

Ces considérations, et d'autres encore, recommandent l'emploi des accumulateurs dans le *transport de l'énergie.*

Leur utilité étant admise, de quelle manière les emploirait-on ?

Le procédé le plus simple, le plus sûr, consiste à charger les accumulateurs près de la force exploitée, et à les transporter chargés sur les lieux d'utilisation.

Ce moyen primitif a été gaiement critiqué : ses adversaires, plus spirituels que réfléchis, l'ont assailli de bons mots plutôt que de bonnes raisons. Les rieurs ont rallié une majorité, de sorte que le *camionnage de l'électricité* est généralement considéré comme un projet bizarre.

Et cependant, que fait-on sans cesse en expédiant dans toutes les directions les produits des houillières, en exportant le charbon d'un continent à l'autre ?

Le charbon, c'est de l'énergie chimique disponible et transformable en travail. Mais qu'est-ce donc qu'un accumulateur, sinon une réserve d'énergie électro-chimique ?

Pourquoi le *voiturage* des énergies *actuelles* dans des accumulateurs semblerait-il plus drôle que le transport de l'énergie *fossile* livrée sous forme de houille ?

Mais, dira-t-on, les accumulateurs sont lourds, leur transport coûtera cher. Cette objection est sérieuse ; on pourra la discuter. Il faudrait évaluer le coût du voiturage, le comparer à celui du transport par conducteur (qui n'est pas gratuit non plus) et, en tenant compte de toutes les données du problème, décider dans quels cas la voiture peut concurrencer le câble. Ces cas deviennent plus nombreux à mesure que les électriciens accroissent la capacité et la solidité des accumulateurs.

Le transport industriel des batteries secondaires comporte certes des difficultés ; leur emploi comme *adjuvant* dans un transport par câble en soulève aussi. J'en signale une, assez grave, que les contempteurs de l'accumulation voltaïque n'ont pas aperçue : c'est le déficit

résultant de la surélévation de la force électro-motrice des accumulateurs pendant la charge. Cette surélévation augmente avec l'excès de la force électro-motrice de la source [1], de sorte que la *charge à distance* s'effectuerait avec un rendement médiocre. Les accumulateurs au zinc sont ceux qui ont la moindre variation, mais ils l'ont trop grande encore. Il faudrait découvrir un système électrolytique dans lequel la surélévation serait presque nulle, ou bien trouver quelque remède à cette cause de déficit.

Mais le transport par câble (avec ou sans accumulateurs) est menacé d'un obstacle bien plus gros, qui se dérobe aux efforts de l'ingénieur, car il n'est pas d'ordre technique.

Pour poser des câbles en pays civilisé, il faut traverser des propriétés particulières et des propriétés collectives ; on rencontre des municipalités ;

On rencontre l'État !

Les conséquences d'une rencontre aussi fâcheuse sont, hélas ! trop faciles à prévoir.....

Plus que toutes les difficultés matérielles, le *monopole* et son cortège de fonctionnaires rebute l'électricien qui voudrait contribuer à fonder une *industrie indépendante* en face du consommateur qui paye et du public qui juge. Toute industrie qui doit, en France, recourir à des décrets d'utilité publique, peut s'attendre à être monopolisée comme les *Télégraphes*, ou périodiquement menacée comme les *Téléphones*, ou tracassée arbitrairement comme le *Gaz Parisien* — à moins qu'elle ne devienne *Budgétivore* comme les Chemins de Fer de l'État.

Le désir de soustraire les voyages de l'énergie à des influences trop tutélaires doit faire préférer le transport des batteries quand il est praticable. De vrai le *voiturage* exige de nouveaux progrès dans la construction des piles secondaires ; mais on y travaille avec persévérance.

Sans trop escompter l'avenir, on peut affirmer que les *Accumulateurs* apportent, dans le transport de l'énergie comme dans la plupart des autres problèmes électriques, un élément qu'il n'est plus permis de négliger.

1. *Piles électriques et accumulateurs*, pages 117 et suivantes.

CHRONIQUE

Sommaire. — L'éducation technique en Amérique. — Le transport du pétrole en Russie. — Les plus fortes grues du monde. — Les chemins de fer espagnols. — La traction par chevaux pour les omnibus et tramways. — Distribution Stevens.

L'éducation technique en Amérique. — Plusieurs journaux anglais ont reproduit un article assez étendu du *Times* sur l'éducation technique aux États-Unis. Il nous a paru utile d'extraire de cet article les points les plus intéressants.

On se fait difficilement une idée du développement qu'ont pu prendre les établissements d'instruction technique dans l'Union américaine et on doit l'attribuer à la parfaite conviction de son utilité et même de sa nécessité absolue qui a pénétré dans l'esprit, non seulement des hommes d'état, mais encore de l'ensemble de la population. Il en est résulté l'établissement de collèges d'agriculture et de technologie qui diffèrent de ceux de certains pays, en ce que l'instruction y est beaucoup moins spécialisée et qu'on se propose, non pas seulement d'y former des élèves en vue de telle ou telle profession, mais encore de donner aux jeunes gens une instruction pratique sérieuse dans la plupart des branches de l'industrie.

Ainsi les écoles d'agriculture américaines ne forment pas des établissements isolés, mais sont reliées au système général d'instruction publique et forment un chaînon du grand ensemble de l'éducation nationale. Elles participent aux subventions que les établissements universitaires reçoivent dans certains États tels que le Minnesota, sous forme de concessions de terres. Cette source de revenus est le principal moyen d'existence des écoles professionnelles ou techniques, en dehors des subventions provenant des institutions publiques ou privées ou même des particuliers. Un acte de 1862 a attribué une superficie totale de terrains de 4 millions d'hectares à des établissements d'instruction au nombre de quarante-trois, et la vente de ces terrains a produit pour chacun des sommes qui varient de 25,000 francs, pour le collège de mécanique et d'agriculture de Columbia, dans le Missouri, à 3 millions de francs, pour l'Université de Cornell, à Ithaca, État de New-York. Mais, comme nous venons de le dire, en dehors de ces ressources, quelque importantes qu'elles soient dans certains cas, ces établissements en ont d'autres très considérables dans les subventions publiques et privées. Il faut dire que les dépenses sont importantes, non seulement pour les frais de l'instruction proprement dite, mais surtout pour les installa-

tions et l'entretien des ateliers, laboratoires, fermes, musées, etc., qui sont établis de la manière la plus libérale.

Ainsi les ateliers de l'institut de Worcester, Massachusetts, occupent un bâtiment à trois étages de 600 mètres carrés, remplis de machines de la cave au grenier; ceux de l'institut Stevens de technologie à Hoboken, New-Jersey, ont 1600 mètres carrés de superficie.

Dans presque tous les établissements d'institution technique, il y a des cours de langues, de mathématiques, de physique, etc., mais les cours relatifs à l'agriculture y ont en général une grande suprématie. Ce n'a pas été une petite difficulté que d'assurer le recrutement du corps enseignant; la plupart des professeurs ont dû se former eux-mêmes, les établissements ayant été créés de toutes pièces. Comme exemple de la variété de l'enseignement, nous pouvons citer le collège agricole de l'état de Kansas qui, bien que destiné spécialement à l'enseignement de l'agriculture, n'en compte pas moins en outre six professeurs enseignant la métallurgie, l'exploitation des mines et la chimie et un nombre égal pour les cours d'architecture et de construction.

Le prix à payer par les élèves est très variable suivant les collèges, mais il est généralement très faible et, dans beaucoup de cas, purement nominal.

On peut dire qu'il n'y a en réalité que très peu d'établissements d'enseignement agricole où il y ait à payer autre chose que les dépenses accessoires. Dans ceux-ci même il y a des bourses et des subventions pour l'entretien matériel des élèves. A l'université de Cornell, tous les cours sont absolument gratuits; dans plusieurs collèges, on loge gratuitement les élèves, dans d'autres on leur assure la pension au prix coûtant. On cherche autant que possible à leur apprendre l'économie qui est indispensable à l'existence de l'agriculteur.

En dehors de l'enseignement théorique, les élèves sont obligés de consacrer tous les jours quelques heures à des travaux pratiques et, dans certains établissements, comme le collège d'agriculture de l'Iowa, les règlements distinguent ces travaux en deux catégories : ceux qui ne se rapportent pas à l'enseignement, lesquels sont payés à l'élève et ceux qui se rapportent à l'enseignement, lesquels représentent la rémunération de l'instruction donnée. Ces travaux pratiques comportent la culture, l'engrais, la conservation des aliments destinés aux animaux, les sondages, la fabrication du sucre, les irrigations, les travaux forestiers, etc., opérés sur une grande échelle.

Dans ceux des établissements où les arts mécaniques sont enseignés dans une mesure plus ou moins considérable, on apprend aux élèves le modelage, la fonderie, la forge, l'ajustage, etc., dans des ateliers appropriés et puissamment outillés. Ainsi l'université de Cornell à Ithaca a une force motrice; une fonderie de fer et de cuivre, une fonderie de caractères, un atelier de construction de machines, une forge, et une imprimerie, le tout ayant coûté plus de 200,000 francs.

Il y a huit collèges spécialement destinés à l'enseignement de l'exploita-

tion des mines et des sciences qui s'y rattachent; ce sont les collèges d'Alabama, l'Université industrielle de l'Illinois, l'École des Sciences de Sheffield, Connecticut, l'Université de l'Etat de l'Ohio, les Universités du Wisconsin, de la Californie et du Missouri et l'Institut de technologie de Massachusetts.

La liste des établissements dits nationaux, c'est-à-dire participants aux subventions en terrains, comprend 46 Universités et Collèges, répartis dans 37 états de l'Union. D'après les rapports les plus récents, le nombre des élèves s'élevait à 6,944, et celui des professeurs et conférenciers à 625. Le nombre des bourses est très variable selon les établissements; quelques uns n'en ont pas, c'est l'exception; le collège d'Agriculture du Maine n'en a qu'une; en revanche le collège du Texas en a 93, l'Université du Tenessee en a 275 et l'Université industrielle de l'Arkansas le nombre énorme de 1134, ce qui équivaut vraisemblablement à la gratuité absolue.

En outre de ces établissements d'un caractère national, il existe dans certains états de l'Est des institutions privées destinées à l'enseignement technique dont quelques uns jouissent d'une grande réputation. Les principales sont l'Institut libre de Worcester, Massachusetts, où on instruit les jeunes gens qui se destinent à la mécanique, la chimie, la profession d'ingénieur civil, etc.; l'Institut Stevens de technologie, à Hoboken, New-Jersey, qui a surtout en vue de former des ingénieurs mécaniciens; l'Université de Washington, à Saint-Louis, qui comprend une école polytechnique; l'Institut polytechnique de Rose, dans l'Indiana; l'École normale des Arts de Boston, Massachusetts; l'Institut de Bussey et l'École des Sciences de Lawrence, qui sont toutes les deux des branches de l'Université d'Harvard, le Département scientifique de Chandler et l'École de Génie civil de Thayer faisant partie du collège de Dartmouth, New-Hampshire; l'École des Sciences de Green, du Collège de New-Jersey, l'École des Mines de Cooper Union, à New-York, l'Institut polytechnique de Rennselaer, à Troy, État de New-York, l'École des Sciences appliquées de Case, à Cleveland, Ohio; le Collège La Fayette à Easton, Pennsylvanie, l'Institut de Franklin, à Philadelphie, l'École de Technologie de l'Université de Lehigh, également en Pennsylvanie, l'Institut militaire de Virginie, etc. Le nombre de ces établissements montre à quel point le peuple américain apprécie l'utilité d'une bonne éducation pratique, professionnelle et technique.

Un point sur lequel il est nécessaire d'appeler l'attention est la question de l'instruction supérieure des femmes. Dans certains états récents de l'Ouest qui n'ont qu'une médiocre considération pour ce qu'ils regardent comme des préjugés empruntés au *vieux monde*, les deux sexes sont admis dans les mêmes établissements et y reçoivent la même instruction en vue de leur future collaboration dans la vie. Dans les États de l'Est, on ne va pas si loin, mais on admet toutefois que la femme est apte à remplir un rôle social en dehors de ses devoirs d'épouse et de mère.

Aussi le nombre des établissements d'instruction supérieure pour les femmes s'est-il énormément accru; en 1870 on comptait 33 institutions

comprenant 5,337 élèves et 378 professeurs tandis qu'en 1880 il y en avait 227 avec 25,780 élèves et 2,340 professeurs.

Mais en outre de ces établissements spécialement destinés au sexe féminin pour lesquels le Kentucky tient la tête avec 19, suivi par la Georgie avec 17 et l'État de New-York avec 16, il y a aussi un certain nombre de collèges dans lesquels les jeunes filles peuvent être admises, tels que le Collège de Vassar (New-York), le Collège de Cornell, de Vermont et de Boston, les Collèges de Smith et de Wellesley, dans le Massachusetts, l'annexe de l'Université d'Harvard. Dans ces établissements, les femmes apprennent l'hygiène, la chimie, la physique, la botanique, la géologie, sans compter l'instruction classique et les mathématiques. On trouve également des enseignements spéciaux, la télégraphie, la sténographie, le tissage à l'Institut technologique du Massachusetts, l'horticulture, la laiterie, les soins à donner aux animaux domestiques au Collège de l'État de Kansas; la culture, l'art forestier spécialement enseignés à l'Université de Cornell et au Collège d'agriculture du Missouri.

Dans les États de l'Ouest, tels que le Colorado et la Californie, il n'est pas rare de voir des étudiants du sexe féminin suivre les cours et les opérations pratiques d'essais et de traitement des minerais.

Le transport du pétrole en Russie. — L'*Engineering* a publié récemment un article très important sur l'industrie du pétrole en Russie. On sait que le district de Bakou sur la mer Caspienne, où la présence du naphte était connue de temps immémorial, produit actuellement des quantités énormes d'huile minérale; on se fait difficilement une idée de l'importance qu'a prise cette exploitation; il n'y a pas moins de 200 raffineries qui ont produit, en 1883, 206,000 tonnes de pétrole raffiné. Les établissements les plus importants sont ceux de MM. Nobel frères, auxquels on doit les perfectionnements les plus considérables de cette industrie et surtout l'organisation de transport très intéressante dont nous allons parler.

L'huile raffinée, pour arriver sur les marchés de la Russie, doit parcourir de 1,500 à 4000 kilomètres. Il n'y a pas aux environs de Bakou de bois pour faire des barils; il faudrait faire venir ce bois de très loin; on avait d'abord acheté des barils vides ayant contenu du pétrole d'Amérique, mais, malgré leur bon marché, ces barils coûtaient encore plus que le pétrole qu'ils devaient contenir. De plus la sécheresse du climat resserrait le bois et on avait une perte considérable par les fuites, enfin les compagnies de navigation et de chemins de fer faisaient payer très cher pour le transport du pétrole en barils. Pour échapper à ces difficultés, MM. Nobel proposèrent à la principale compagnie de navigation sur la mer Caspienne de disposer un ou deux de leurs steamers avec des citernes pour recevoir le pétrole en vrac et le transporter au Volga. Cette compagnie, malgré l'offre d'un traité pour plusieurs années, refusa de prendre l'initiative de cette opération et MM. Nobel se décidèrent à la tenter eux-mêmes. Il y avait certaines difficultés, car la mer Caspienne est sujette à des tempêtes qui s'élèvent

brusquement et on ne manqua pas de dire que puisque les Américains si entreprenants n'avaient jamais osé amener d'huile en Europe dans des bateaux citernes, ce serait une folie que de tenter de le faire sur la mer Caspienne.

Le premier transport citerne y parut cependant en 1879 ; il y en a actuellement une cinquantaine, MM. Nobel en ont douze. Voici les dimensions de l'un deux le *Spinoza*: longueur 75 mètres, largeur 8^{m}50, tirant d'eau en charge 3^{m}30, coque en acier, machines de 120 chevaux nominaux, vitesse 10 nœuds.

On brûle naturellement du pétrole. Les soutes en contiennent suffisamment pour le trajet de Bakou à l'embouchure du Volga et retour, soit six jours. Le navire peut porter 750 tonnes d'huile.

Certains de ces navires portent des passagers en même temps que du pétrole. Une partie de ces navires ont été construit en Suède; le magnifique réseau de canaux qui relie la Néva au Volga a permis de les amener sans grandes difficultés dans la mer Caspienne depuis leur port de construction; tout au plus a-t-il fallu couper en deux les plus grands pour les faire passer dans les canaux. Il en a été fait également quelques uns en Angleterre, lesquels sont arrivés à Bakou par la même voie. Enfin on a établi sur le Volga des ateliers de construction qui ont aussi fait quelques navires à vapeur pour le transport du pétrole, notamment le *Shekna* de 64 mètres de longueur, 6 mètres de large et 4^{m}20 de creux, avec machines de 75 chevaux de puissance nominale ; ce bateau porte 500 tonnes d'huile dans les citernes.

L'entrée du Volga ne permet pas le passsage de navires d'un fort tirant d'eau. Les steamers dont nous venons de parler doivent donc s'y arrêter ; l'huile est alors transvasée par des pompes et des tuyaux dans des steamers à citernes de faible tirant d'eau ou dans des barques remorquées. Ces bateaux forment une seconde flottille ; leurs dimensions varient de 18 à 45 mètres de longueur ; ils portent le pétrole depuis l'entrée du Volga jusqu'à Tsaritzin où commence le chemin de fer. MM. Nobel ont une douzaine de bateaux à vapeur de ce type coûtant 150,000 francs chacun en moyenne, plus 11 bateaux citernes en fer et une trentaine en bois avec réservoirs en tôle.

On peut ainsi amener l'huile de Bakou à Tsaritzin dans d'excellentes conditions de rapidité et de bon marché. A Bakou le pétrole est amené dans les citernes des navires par la simple différence de niveau et le chargement se fait à raison de 100 tonnes à l'heure. Le steamer va de là à l'embouchure du Volga, pompe son huile dans les bateaux de rivière et, comme l'eau douce est peu abondante à Bakou, il remplit d'eau ses citernes et revient; l'aller et le retour ne demandent que quatre jours et demi.

Les bateaux de rivières remontent de l'embouchure du Volga à Tsaritzin en deux jours ; là ils déchargent leur cargaison dans des réservoirs placés le long du chemin de fer, d'où l'huile est expédiée sur tous les points du réseau des voies ferrées de la Russie et même de l'Europe.

L'emploi du combustible liquide est devenu absolument général sur la mer Caspienne où on ne trouverait pas actuellement un seul bateau brûlant du bois ou du charbon. Cet emploi s'est également répandu sur le Volga où cependant le bois est abondant. Il y a sur ce fleuve et sur la mer Caspienne plus de 300 bateaux employant le pétrole comme combustible. On emploie plusieurs systèmes de foyers, mais le principe est toujours la pulvérisation de l'huile et son injection dans les foyers par un jet de vapeur. Une tonne d'huile brute fait, suivant les appareils, l'effet de 2 à 3 tonnes de houille, et on gagne en plus sur le volume occupé par le combustible à poids égal et sur la réduction de la main d'œuvre, un seul homme suffisant pour la conduite d'un nombre quelconque de foyers; un simple robinet dirige la marche des feux et, une fois réglé au départ, on n'a plus à y toucher jusqu'à l'arrivée. On a déjà l'expérience d'une douzaine d'années et il n'est jamais arrivé d'incendies même avec des chargements aussi combustibles.

L'amirauté russe a été si satisfaite de l'emploi du pétrole sur les canonnières qu'elle possède sur la mer Caspienne qu'elle a fait récemment installer ce mode de chauffage sur des navires de guerre naviguant sur la mer Noire. L'huile est facilement amenée par le chemin de fer qui relie Bakou à Batoum, et les arsenaux de Sébastopol et de Nicolaieff peuvent avoir à leur disposition autant de pétrole qu'il est nécessaire.

On peut s'attendre à voir, avant peu, les huiles minérales brutes ou les résidus de la distillation du pétrole devenir, sur la mer Noire, la Méditerranée et l'Orient, un formidable concurrent pour les houilles anglaises et il en résultera vraisemblablement une modification très sensible des conditions de la navigation à vapeur.

Nous avons dit que les bateaux fluviaux déchargeaient leur cargaison liquide à Tsaritzin. Là se représentait la question des moyens de loger le pétrole pour son transport par chemin de fer; on commença par employer les barils et à éprouver tous les inconvénients de ce système. MM. Nobel pensèrent à employer des wagons citernes, mais, pour y arriver, de même que pour les citernes flottantes, il fallut qu'ils les fissent eux-mêmes. Ils durent donc faire construire environ 1500 wagons-citernes et établir au dépôt central à Orel, un dépôt à Saint-Pétersbourg, deux à Moscou, un à Varsovie, un à Saratoff et 21 dans des stations moins importantes, sans compter bien entendu le dépôt de départ de Tsaritzin; celui-ci peut emmagasiner environ 20,000 tonnes, et tous les autres ensemble 120,000 tonnes.

L'importance de ces dépôts tient à une circonstance de l'exploitation due au climat. Le Volga est gelé pendant au moins quatre mois de l'année et alors il est impossible de faire aucun transport de Bakou à Tsaritzin. Au contraire en été les nuits sont très courtes dans une grande partie de la Russie et on ne consomme presque pas de pétrole. On accumule donc celui-ci dans les dépôts pendant l'été et ceux-ci se vident pendant l'hiver.

Le pétrole circule par trains de 25 wagons lesquels portent 10 tonnes chacun, ce qui fait 250 tonnes. Ces wagons coûtent environ 5,000 francs, On les charge à Tsaritzin et on les décharge dans les divers dépôts où les

marchands viennent alors remplir des barils ou récipients divers qu'ils emportent dans leurs propres magasins.

C'est par ces moyens perfectionnés de transport que MM. Nobel ont pu s'assurer pratiquement le monopole de la fourniture du pétrole en Russie et en livrent annuellement au commerce plus de 200,000 tonnes. Il est même probable que, si on obtient de l'Allemagne quelques modifications dans les règlements de police des transports, les pétroles de la mer Caspienne pourront pénétrer dans l'Europe centrale et même occidentale, grâce à un simple transvasement d'un train dans un autre à la frontière russo-allemande et entreront en concurrence sérieuse avec les pétroles des États-Unis. D'autre part MM. Nobel expédient déjà par le port de Libau des huiles minérales en Allemagne et en Angleterre et l'ouverture du chemin de fer de Bakou à Batoum ouvre un débouché direct sur la mer Noire, la Méditerranée et l'Orient.

On dit que les gisements de pétrole de la région transcaspienne sont assez riches pour pouvoir fournir pendant des années de l'huile brute à raison d'un million de tonnes par an. La situation géographique de cette région lui assure des facilités de transport extraordinaires par terre et par mer. Elle est déjà en communication avec l'Europe et ne saurait manquer de l'être tôt ou tard par chemins de fer avec la Perse, l'Inde et la Chine, pays à populations énormes. Les frais de transport faisant presque toute la valeur des huiles russes, il est évident qu'avec l'emploi des moyens perfectionnés que nous avons indiqués, les pétroles du Caucase peuvent espérer le monopole des marchés de l'ancien continent au grand détriment des pétroles d'Amérique. Il est probable que les États-Unis, se voyant menacés, ne manqueront pas de recourir à leur tour à des moyens analogues ; ils ont déjà les tuyaux et les wagons-citernes ; on doit s'attendre à voir bientôt des navires-citernes amener en Europe les huiles de la Pensylvanie et de l'Ohio. Nous croyons pouvoir rappeler ici que nous avions en 1869, en collaboration avec M. B. Normand, étudié très complètement un système d'emmagasinage des pétroles et des navires-citernes de mer et de rivière formant le point de départ d'une organisation rationnelle et économique du transport des huiles minérales raffinées entre Philadelphie et le Havre. Ce projet[1], accueilli avec faveur à cette époque, a été arrêté par la guerre et les événements politiques et diverses circonstances n'ont pas permis de le reprendre. Ce qu'ont fait depuis MM. Nobel prouve que l'idée était juste et facilement réalisable.

Les plus fortes grues du monde. — La mode est actuellement de faire des comparaisons entre l'importance des divers objets de même nature répartis dans les diverses contrées; la plupart des publications périodiques ont reproduit dernièrement un tableau des dimensions compatives des plus grands ponts du monde, tableau, par parenthèse, très incom-

1. Les deux brochures autographiées : *Perfectionnements dans les moyens de transporter et d'emmagasiner les huiles minérales* et *Projet d'établissement pour la réception et le magasinage des pétroles* se trouvent à la bibliothèque de la Société,

plet; il n'est pas étonnant qu'on ait eu l'idée de comparer les plus fortes grues de déchargement des ports.

L'*Iron* nous apprend qu'on installe en ce moment à Hambourg une grue qui pourra lever une charge de 150 tonnes ; il n'y en avait encore qu'une de 40 tonnes. Comme les aciéries de Krupp sont en train de faire des canons pesant 125 tonnes, la grue de 120 tonnes d'Anvers, la plus puissante du moment se trouvera insuffisante ; c'est pour cela qu'on installe la nouvelle grue de Hambourg. Il y a une grue de 100 tonnes à Woolwich, une de 80 à Amsterdam et une de 60 à Bremerhaven. Cette liste a évidemment besoin d'être complétée.

Les chemins de fer espagnols. — La direction générale des Travaux Publics à Madrid vient de publier les documents relatifs à la situation des chemins de fer espagnols au 1er Janvier 1884. Voici la longeur des lignes à divers états d'avancement.

Lignes en exploitation.

Lignes d'intérêt général	7,846km
Lignes non comprises sous la rubrique précédente	405
Tramways	65
Total	8,316

Lignes en contruction.

Lignes d'intérêt général	900km
Lignes non comprises sous la rubrique précédente	200
Tramways	164
Total	1,314

Lignes dont le projet est approuvé.

Lignes d'intérêt général	2,500km
Lignes non comprises sous la rubrique précédente	900
Tramways	107
Total	3,507

Soit en tout 13087 kilomètres.

Depuis le premier janvier de cette année, ont été mises en exploitation les lignes suivantes :

Gandia à Denia	30,400m
Alicante à Murcie avec embranchements sur Novelda et Torreviéja	108,809
Merida à Cacères	64,691
Villena à Banezas	228,900
Total	432,800

Ce qui fait actuellement 8,278 kilomètres de lignes d'intérêt général en exploitation.

Les lignes suivantes en construction seront très prochainement livrées à l'exploitation :

Segovie à Medina del Campo [1]	90,330m
Llerena à Pedroso	201,795
Pontevedra à Redondela	18,751
Burdongo à Puente los Fierros	172,274
Total	483,150

La traction par chevaux pour les omnibus et tramways. — Nous trouvons, dans les rapports sur les opérations du service de la cavalerie et des fourrages pendant l'exercice 1883, présentés au conseil d'administration de la Compagnie générale des Omnibus par notre collègue M. Lavalard, d'intéressants détails sur l'effet utile des chevaux employés à la traction des omnibus et des voitures de tramways.

M. Lavalard, en relevant sur toutes les expériences faites à la Compagnie des Omnibus depuis 1878, le travail moyen par seconde, trouve qu'il est, pour les tramways de 82 kilogrammètres par cheval et, pour les omnibus, de 95 kilogrammètres avec une vitesse moyenne de 3 mètres pour les premiers et 2m,50 pour les seconds.

Chaque cheval, pendant le temps qu'il est attelé, fournit donc un travail égal respectivement à 1,1 et 1,3 cheval vapeur de 75 kilogrammètres. C'est un travail considérable et qui ne peut être soutenu longtemps. Ce qui explique pourquoi les chevaux de la Compagnie des Omnibus ne peuvent parcourir plus de 17 kilomètres par jour avec une vitesse moyenne de 9 à 12 kilomètres à l'heure et une charge de 1,610 à 1,900 kilogrammes.

La durée moyenne d'une course sur les lignes de tramways est de 46 minutes et, sur les lignes d'omnibus, de 48. Pour les premiers, les limites extrêmes sont, minimum 32 minutes (Charenton à Creteil) et maximum 70 minutes (Louvre à Sèvres et à Versailles) et, pour les omnibus, minimum 26 minutes (gare Saint-Lazare à la place Saint-Michel), maximum 60 minutes (Montmartre à Saint-Jacques).

Tous les jours les chevaux font au moins 2 courses ou un tour et certains 2 tours ou 4 courses. Ils travaillent donc en moyenne, sur les tramways, pendant 92 minutes quand ils font un tour, et 184 minutes quand ils font deux tours, et sur les omnibus, dans les mêmes conditions, pendant 96 ou 192 minutes.

Le travail étant, sur les tramways, de 82 kilogrammètres par seconde est, pour un tour, de 452,600 kilogrammètres et, pour deux tours, de 905,200 kilogrammètres.

Sur les omnibus, où le travail par seconde est de 95 kilogrammètres par seconde, le travail journalier est de 547,200 kilogrammètres pour un tour et de 1,094,400 pour deux tours.

1. Cette ligne a été ouverte pendant l'impression de cette note.

Le travail d'un cheval vapeur pendant 24 heures étant de 6,480.000 kilogrammètres, M. Lavalard conclut que le travail journalier d'un cheval de tramway ne dépasse pas en moyenne le septième du travail d'un cheval vapeur en 24 heures et peut descendre au quatorzième. Pour les chevaux d'omnibus, ces rapports sont un sixième et un douzième.

Ces chiffres sont des moyennes : si on prend les maximum, on trouve que, sur certaines lignes, les chevaux arrivent à faire à peu près le cinquième du travail d'un cheval-vapeur par 24 heures.

Comme le cheval travaillant au pas peut être utilisé 8 à 10 heures par jour et réaliser le tiers ou même la moitié du travail du cheval-vapeur par 24 heures, on est amené à conclure que ce sont les conditions spéciales de charge, de vitesse et de temps qui ne permettent pas d'obtenir du cheval le travail qu'il pourrait donner dans des conditions plus normales et qu'on est à peu près au maximum de ce qu'on peut demander aux chevaux. On en trouve la confirmation dans la comparaison avec les chevaux de la Compagnie des voitures qui, attelés à un coupé pesant 600 kilogrammes environ, peuvent faire en moyenne 62 kilomètres en 10 heures et donner un travail total de 1,625,000 kilogrammètres pour 45 kilogrammètres seulement par seconde, alors que les chevaux d'omnibus avec 95 kilogrammètres par seconde, c'est-à-dire plus du double, ne donnent qu'un total journalier de 1,368,000 kilogrammètres.

M. Lavalard donne quelques chiffres d'expériences sur la traction que nous reproduisons ci-dessous :

20 *Mars* 1884. — Effort moyen sur le pavage en bois. — Expérience sur la ligne C (au trot). — Moyenne sur les Champs-Élysées et la rue de Rivoli. — Pavé sec			15kg,196
28 *Mars*. — Expérience aux Champs-Élysées	Du Rond Point à la Concorde.	au pas	16 ,620
			19 ,570
	De la Concorde au Rond Point.	au trot	17 ,270
			17 ,560
1er *Avril*. — Expérience sur le pavé sec. — Boulevards extérieurs			14 ,360
			17 ,200
1er *Avril*. — Expérience sur le macadam sec. — Boulevards extérieurs			17 ,200
			12 ,040
2 *Avril*. — Expérience sur le macadam arrosé. — Sur le quai de la Conférence			16 ,770
			18 ,890
			17 ,910

Dans toutes ces expériences, les chiffres représentent l'effort moyen par tonne.

Distribution Stevens. — Nous avons, dans la Chronique de février 1884, page 243, donné quelques détails, d'après le *Railroad Gazette*, sur un type de locomotives à dix roues accouplées construit par le

Central Pacific Railroad. Cette machine porte une distribution du système Stevens que, sur le vu d'un croquis assez confus, nous avions supposée n'être autre chose qu'une modification de la distribution Walschaerts.

Nous avons depuis trouvé, dans le *patent record* du journal *Engineering*, la description sommaire de la patente anglaise, n° 4470, au nom de M. F. M. Stevens, New-York, pour mécanisme de distribution et nous avons pensé, d'après la similitude des noms et d'après la ressemblance du dessin annexé à cette patente avec ce qu'on peut apercevoir de la distribution sur le croquis de la machine *El Gobernador* donné par le *Railroad Gazette*, que c'était le même système de distribution.

Ce système n'a aucun rapport avec la distribution Walschaert et comme, bien que composé d'organes déjà appliqués séparément à la distribution des machines à vapeur, il est au moins nouveau pour les locomotives, il nous a semblé intéressant d'en faire connaître sommairement le principe.

Le point de départ est la commande des tiroirs par des cames à profil variable, lesquelles donnent toutes les modifications de la distribution, tant pour la marche en avant que pour la marche en arrière. Ces cames sont portées par un arbre spécial de distribution et, en les déplaçant dans le sens de l'axe longitudinal de cet arbre, on met le profil convenable en rapport avec les galets d'un cadre relié à la tige du tiroir. C'est, au fond, le système de distribution de beaucoup de machines d'extraction, avec cette différence qu'ici il agit sur un tiroir ordinaire au lieu d'opérer sur des soupapes.

Le levier de changement de marche agit sur un manchon lequel est relié aux deux cames (une pour chaque cylindre) et les déplace d'une manière convenable dans le sens de la longueur de l'arbre avec lequel des clavettes et des rainures les obligent à tourner.

L'arbre de distribution est placé près des tiroirs à peu près dans le plan horizontal passant par leurs tiges; il porte à ses deux extrémités de petites manivelles à 90° l'une de l'autre, commandées au moyen de bielles et de leviers par les têtes des tiges de piston; il reçoit ainsi un mouvement de rotation continu.

Ce système de distribution est très satisfaisant au point de vue théorique, en ce qu'il permet de proportionner à volonté la régulation des machines, sans que, comme avec les coulisses, on soit obligé de faire des compromis entre les diverses phases, et de sacrifier plus ou moins les unes aux autres; mais il faudrait savoir comment les cames et les galets se comporteront en pratique aux vitesses, même les plus modérées, des machines locomotives.

On comprend qu'il était indispensable de monter ces cames sur un arbre spécial de distribution, mais nous ne croyons pas que le mode de commande de cet arbre par les têtes des tiges de piston soit le meilleur à adopter; en effet, pour que le mouvement de rotation de cet arbre soit semblable à celui de l'essieu moteur et, de plus, pour qu'il ne se produise pas d'effort de tor-

sion, il faut que les pièces de la transmission du mouvement des têtes de tiges de pistons à l'arbre auxiliaire soient dans des proportions définies avec les pièces de la transmission des pistons à l'essieu moteur, ce qui peut n'être pas toujours facilement réalisable. Il serait, croyons-nous, préférable de pratiquer la liaison des deux arbres par un accouplement ordinaire et, au besoin, avec des engrenages.

Dans beaucoup de machines marines, on emploie des arbres spéciaux pour la commande de la distribution; le plus souvent la liaison de cet arbre avec l'arbre moteur s'opère par des engrenages; on a cependant employé quelque fois des accouplements par bielles et manivelles ou excentriques, analogues aux accouplements des essieux de locomotives. On peut citer comme exemple des machines horizontales pour bateaux à roues de rivières construites par le Creusot, dont un spécimen remarquable, ayant ce dispositif, figurait à l'Exposition universelle de Paris en 1855, les machines verticales à trois cylindres des paquebots *Jacquard* et *François Arago*, construites par Cavé vers 1855. Ces machines étaient à distribution par soupapes et avaient dû fonctionner à l'origine avec vapeur d'eau et vapeur d'éther; après la suppression de l'emploi de ce dernier, elles fonctionnèrent quelque temps avec la vapeur d'eau seule et condensation par surface.

Enfin les détentes variables des machines de l'*Isly* et de l'*Eylau*, construites à la même époque par la maison Cavé, étaient commandées par un arbre auxiliaire relié à l'arbre de la machine au moyen du système de transmission dont nous parlons.

Nous devons mentionner également qu'une commande d'arbre de distribution, du même genre que celle de M. Stevens, a été appliquée sur une machine locomotive avec transmission à balanciers semblable à celle qui a été employée depuis quelques années sur une grande échelle par M. Brown de Winterthur, locomotive construite en 1834 par les forges de Neath-Abbey, dans le pays de Galles. Le numéro du journal *Engineering*, du 15 novembre 1867, donne un croquis de cette machine, ainsi que de plusieurs autres remontant à la même époque et qui présentent des particularités intéressantes.

Il est bon de dire en terminant que nous n'avons pu raisonner que d'après le dessin unique accompagnant la description très sommaire de la patente Stevens donnée dans l'*Engineering*, alors que cette patente est indiquée comme accompagnée de 15 figures.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES MINES

6e LIVRAISON DE 1884.

Recherches expérimentales et théoriques sur la **Combustion des mélanges gazeux explosibles**, par MM. MALLARD et LE CHATELIER, ingénieurs des mines.

C'est un troisième mémoire consacré à l'étude des températures de combustion et des chaleurs spécifiques des gaz aux températures élevées.

Les deux premières parties de l'important travail de MM. Mallard et Le Chatelier ont été données dans la cinquième livraison de 1883 des *Annales des Mines*. (Voir Comptes rendus d'avril, page 527).

La température de combustion est la température à laquelle les corps brûlés seraient portés, si on les supposait, pendant la combustion, complètement isolés dans l'espace de manière à ne recevoir de l'extérieur ni lui communiquer aucune quantité de chaleur.

Ces températures peuvent être calculées au moyen des chaleurs spécifiques et des chaleurs de combustion, pour les températures en vases clos, et on obtiendra les températures de combustion à pression constante en réduisant de 1.96 les chaleurs spécifiques élevées par les formules.

La température la plus élevée serait celle d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène, soit 3,200 degrés ; celle du mélange détonant d'hydrogène et d'air ne serait plus que de 2,000 degrés.

Un fait des plus intéressants est l'accroissement continu des chaleurs spécifiques des gaz avec la température. Regnault avait déjà constaté que la chaleur spécifique de l'acide carbonique croît notablement entre 0° et 200°, mais il admettait que celle des gaz parfaits restait invariable dans ces limites.

Les auteurs du mémoire dont nous nous occupons ont les premiers constaté la réalité de l'accroissement continu avec la température des chaleurs spécifiques de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau et même des gaz parfaits pour lesquels cet accroissement est insensible entre 100 et 200 degrés. Il peut donc être considéré comme commun à tous les gaz. Il en résulte que l'observation directe peut seule faire connaître celles des propriétés des

gaz qui dépendent de la nature et de l'arrangement intérieur de la molécule, lesquels règlent la chaleur spécifique, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur fournie à l'accroissement de température qui en résulte et qu'aucune théorie ne peut même faire entrevoir la vérité sur ce point.

L'étude des variations des chaleurs spécifiques gazeuses avec la température est donc le point sur lequel doivent se porter les recherches et les travaux de MM. Mallard et Le Chatelier, qui ont été les premiers dans cette voie, auront été d'une grande utilité pour porter la lumière sur des questions à peu près inconnues,

Note sur un **accident survenu au puits des Rosiers.** — Cet accident, arrivé le 12 juillet 1883 au puits des Rosiers, concession du Quartier-Gaillard (Loire) a causé des brûlures graves à un ouvrier à la suite de l'explosion d'un coup de mine. Toute explication basée sur la présence de grisou se trouvant écartée par les circonstances dans lesquelles s'est produit l'accident, on doit admettre l'intervention des poussières de charbon qui ont pu propager la flamme à une distance de 10 mètres. Il est donc utile pour éviter le renouvellement d'accidents de ce genre, d'éviter les charges trop fortes ainsi que les bourrages charbonneux et de faire retirer les ouvriers dans le niveau à une trentaine de mètres de distance au moins, au moment de l'allumage des coups.

Accidents arrivés pendant l'année 1882 dans l'emploi des chaudières à vapeur. — Il y a eu 37 accidents, lesquels ont entraîné la mort de 40 personnes et des blessures à 20 autres.

Sur ces 37 accidents, il y en a eu 11 à des chaudières horizontales à foyer extérieur et 3 à des chaudières verticales du même genre, 1 à une chaudière horizontale non tubulaire à foyer intérieur, 8 à des chaudières horizontales tubulaires à foyer intérieur, 2 à des chaudières verticales à foyer intérieur, 9 à des récipients et 3 rangées sous la désignation *divers*.

Si on prend les causes premières des explosions, on en voit 10 attribuées à des conditions défectueuses d'installation, 22 à des conditions défectueuses d'entretien, 15 à un mauvais emploi des appareils, manque d'eau ou excès de pression, et 2 à des causes restées inconnues.

Note sur le **bassin houiller de Tête (région du Zambèze),** par M. Lapierre, ingénieur civil des mines.

Ce bassin qui occupe une étendue de 330 kilomètres carrés est composé de grès, schistes et houille. La houille qui est en couches de puissance variable de $0^m,30$ à 12 et 14 mètres, appartient à la catégorie des houilles demi-grasses à longue flamme; elle est très propre au chauffage des chaudières, mais elle contient de 15 à 18 pour 100 de cendres. Il y a également dans le voisinage d'autres gisements houillers très riches.

Note sur **la flore du bassin houiller de Tête**, par M. R. Zeiller, ingénieur des mines.

C'est une étude des empreintes végétales rapportée par M. Lapierre de l'exploration qui fait l'objet de la note précédente.

M. Zeiller y trouve une nouvelle preuve de l'uniformité de la flore sur une grande partie du globe à l'époque houillère; ces espèces sont en effet les mêmes que celles qui sont déjà connues et abondamment répandues dans les bassins houillers de l'Europe.

L'existence des mêmes espèces à toutes les latitudes dans les deux hémisphères indique que le climat a dû être le même partout; le climat étant uniforme, il est permis de croire que les variations de la flore houillière ont eu lieu partout à la même époque ou à très peu près et que par conséquent la formation de la houille a été simultanée sur tous les points du globe.

COMPTES RENDUS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 3 mai 1884.

Explosion des mines de Ferfay, M. Soubeiran, ingénieur des mines à Arras, adresse une note dans laquelle il conteste l'explication donnée par M. Boudinhon dans la séance du 1er mars, laquelle attribuait l'explosion, non à un dégagement spontané de grisou, mais à l'explosion d'une caisse contenant de la dynamite. (Voir comptes rendus de mai, p. 626.)

Communication de M. Imbert, sur le **Neptune, appareil explorateur sous-marin**. Cet appareil est formé d'un cylindre de 3 mètres de diamètre et $6^m,90$ de hauteur avec un col de $1^m,30$ de diamètre et $1^m.68$ de hauteur. Un balcon qui le surmonte porte la hauteur totale à 10 mètres.

L'enveloppe est double et formée de tôles d'acier de 12 millimètres. La hauteur est divisée en trois étages par des cloisons horizontales en tôle d'acier de 25 millimètres d'épaisseur.

A 200 mètres de profondeur, et en ne tenant pas compte des armatures, les tôles de l'enveloppe travailleraient à 12.6 kilog. par millimètre carré. On a employé des tôles donnant en moyenne 49.4 kilog. de charge de rupture et 20 pour 100 d'allongement.

L'appareil pèse complet 46,000 kilog.; comme son volume est de 56 mètres cubes et celui du col de 4 mètres cubes, on voit qu'il plongera

jusqu'à la moitié du col et qu'il suffira d'introduire un mètre cube d'eau dans la chambre à eau pour l'immerger.

M. Toselli, inventeur de cet appareil, est déjà descendu à 70 mètres avec un premier appareil; celui-ci est destiné à descendre à 200 mètres.

Nous avons dit qu'il y avait trois compartiments : le premier en descendant contient les appareils de manœuvre, réservoirs d'air comprimé à 30 et 40 kilog. servant à renouveler l'air respirable et à chasser l'eau de la chambre de lest pour la remonte, les appareils télégraphiques et téléphoniques, indicateurs de pression, thermomètres, etc. Les parois et le plafond de cette première chambre sont percés de six trous garnis de lentilles pour permettre de diriger la marche de l'appareil.

La chambre des voyageurs est au-dessous; elle contient 14 sièges avec 14 ouvertures à lentilles pour voir autour de l'appareil, une grande lentille centrale laisse voir le fond.

La chambre du bas est la chambre à eau, qui sert à faire monter ou descendre l'appareil. L'intérieur de celui-ci est éclairé à la lumière électrique.

Influence du cuivre sur les qualités du fer et de l'acier. — M. Euverte présente quelques observations sur la communication faite par M. Choubley (voir comptes rendus de juin, page 745). Il dit que le cuivre agit surtout sur la soudure et que sa présence a le grand inconvénient de rendre les fers insoudables tandis qu'elle peut n'avoir aucune importance pour des aciers que l'on n'a pas besoin de souder.

Les câbles de mines en Prusse. — Il s'agit de renseignements statistiques empruntés au *Bulletin des mines.*

Communication de M. Bataült, sur l'**explosion d'un cylindre à vapeur aux mines de la Chapelle-sous-Dun.** — Ce cylindre de $1^m,20$ de diamètre et $3^m,50$ de hauteur appartenait à une machine d'épuisement à traction directe construite à Rive-de-Gier en 1854. Il avait toujours fait un excellent service, lorsqu'il s'est rompu à la mise en marche en 15 morceaux, dont deux pesant de 150 à 200 kilog., lesquels ont été projetés de 4 à 5 mètres. L'accident, qui a causé la mort d'un homme, semble très difficile à expliquer, il ne semble pas y avoir eu de projection d'eau et, s'il y avait en réalité une fissure, cette fissure existait dans une partie du cylindre restée entière.

Usure des rails en acier. — C'est une analyse du mémoire de M. Cernesson, Ingénieur principal de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, publié dans la *Revue générale des chemins de fer.*

Les conclusions de M. Cernesson sont les suivantes : On peut admettre que les rails d'acier en voie courante peuvent supporter un tonnage de 100

à 200 millions de tonnes avant que l'usure du champignon exige la mise hors de service du rail.

Dans les gares, aux abords des disques et sur les points où l'on fait un usage fréquent des freins, la durée des rails sera diminuée dans une proportion très forte et peut aller jusqu'à être dix fois moindre, mais ces parties de voie particulièrement fatiguées ne forment qu'une minime fraction de la longueur totale du réseau.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

N° 26. — 28 JUIN 1884.

Ponts mobiles, par J. Hofmann.

Recherches sur l'extraction du sucre des mélasses de betteraves, par R. Schöttler.

Travail et préparation des phosphates par O. von Horstig.

Mines. — Pompes d'épuisement avec transmission télodynamique.

Groupe de Berlin. — Machine à étamper, de Hagemann.

Groupe de Francfort. — Travaux d'assainissement de la ville de Francfort sur le Mein.

Groupe de Würtemberg. — Procédés d'inoxydation. — Organisation et conduite des expériences sur les chaudières et machines à vapeur. — Redressement d'une cheminée d'usine.

Association des chemins de fer. — Ruptures de roues. — Signaux de sûreté à explosion de Heydrich.

Patentes.

Bibliographie. — Géométrie descriptive et projections par le Dr G. Peschka.

Variétés. — Lancements et essais de navires. — Transmission de force par l'électricité.

N° 27. — 5 JUILLET 1884.

Principe du travail de moindre déformation par le Dr W. Frankel.

Nouvel établissement hydraulique de Stuttgart par H. Zobel.

Captage des sources, par Otto Lueger.

Appareils de préparation des minerais à tamis oscillants verticaux, par E. Stuckrath.

Études sur l'exposition internationale d'électricité de Vienne en 1883, par C. Fink.

Métallurgie. — Le cuivre.

Groupe de Hanovre. — Touage sur le Volga.

Groupe de Hesse.

Groupe de Carlsruhe. — L'arme de l'infanterie de l'avenir.

Groupe du Rhin inférieur. — Emploi de la tourbe. — Réunion générale de l'association des maîtres de forges allemands. — Progrès dans la construction des machines pour laminoirs. — Four à coke avec condensation des sous-produits. — Exploitation des minières du pays de Siegen.

Statuts de l'association centrale pour la surveillance des chaudières à vapeur en Prusse.

Patentes.

Correspondance. — Régulateur Proëll pour machines à vapeur :

Variétés. — Lancements et essais de navires. — Essais des matières entrant dans la construction des navires en fer.

N° 28. — 12 JUILLET 1884.

Expériences sur une locomotive à voyageurs avec chaudière à soude, du système Honigmann, par F. Gutermuth.

Nouvel établissement hydraulique de Stuttgart par H. Zobel (suite).

Captage des sources, par Otto Lueger (fin).

Frottements dans les tuyaux.

Four système Gronen pour l'extraction de l'acide carbonique, de la pierre à chaux, de la dolomie et de la strontiane par la vapeur surchauffée.

Ponts. — Calculs de résistance, — Reconstruction du pont suspendu pour chemin de fer sur le Niagara. — Ponts du chemin de fer secondaire Kiel-Eckernforde-Flensburg. — Calcul des travées et des appuis des ponts métalliques. — Fondations à l'air comprimé sans perte des caissons métalliques. — Nouveau système de construction des ponts-routes en fer. — Pont de chemins de fer sur la Moldau à Budwein. — Expérience de refrigération de F. H. Pœtsch et application à l'art des constructions.

Groupe de Hambourg. — Éclairage au gaz d'huile.

Groupe de la Lenne. — Laminoir vertical pour fils de fer et d'acier.

Patentes.

Bibliographie. — Annuaire de la construction allemande de Werber. — Livres reçus.

Variétés. — Métal Delta. — Pavage en asphalte. — Chemin de fer métropolitain à Paris. — Pression du vent. — Statistique de la fabrication du sucre en Allemagne. — Le viaduc le plus élevé du monde.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AOUT 1884

N° 8

Pendant le mois d'août, la Société a traité les questions suivantes :

1° *L'action d'une force*, par M. de Bruignac. (Séance du 1er août pages 103 et 111).

2° *Chemin de fer métropolitain*, projet de M. Haag. (Séance du 1er août, page 105).

Pendant le mois d'août, la Société a reçu :

De M. Haag, ingénieur des ponts et chaussées, un projet de *Chemin de fer métropolitain*.

De M. le baron Engerth, membre honoraire de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur *la porte flottante du canal du Danube*.

De M. Royon, un exemplaire des *éléments de l'art militaire, par Cugniot*, 1766.

De M. Boutmy (Gabriel), membre de la Société, un mémoire sur la première application du *marteau pilon à vapeur*.

De MM. Sautter et Lemonnier, membres de la Société : 1° un exemplaire d'une note sur la *lumière électrique dans les usines;* 2° un exemplaire d'une note sur l'*éclairage et l'électricité du cuirassé « le Richelieu. »*

De M. Rosensthiel, un exemplaire de sa note sur les *premiers éléments de la science et de la couleur.*

De M. Gillot Auguste, membre de la Société, un mémoire intitulé *de la cause et de la nature de la force.*

De M. Barabant, ingénieur en chef de la voie publique, deux exemplaires de sa note sur les *questions de viabilité.*

De M. Post, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur son système *de chemin de fer à crémaillère.*

De M. Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées, une note sur le *barrage de Suresnes et sur les écluses de Bougival.*

De M. Picou, ingénieur de l'usine Edison, texte de sa conférence sur l'*éclairage électrique* faite au Conservatoire des arts et métiers, le jeudi 14 août.

Les Membres nouvellement admis sont :

Comme Membres honoraires :

MM. l'amiral Paris, présenté par le comité.
Pasteur, —

Comme Membres sociétaires :

MM. Coudère, présenté par MM. Brossard, Hallopeau et L. Martin.
Granmasson, — Carimantrand, Mallet et Marché.
Kœchlin, — de Fonbonne, Pascal et Petiet.
Rumler, — Duroy de Bruignac, de Nansouty, Tisseron.
Thomas, — Armengaud, fils aîné, Delage et Guillemin.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AOUT 1884

Séance du 1er Août 1884.

PRÉSIDENCE DE M. LOUIS MARTIN.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part de la nomination de M. Georges Whaley comme chevalier de la Légion d'honneur, et de celle de M. Auguste Martin comme officier d'Académie.

M. DE BRUIGNAC expose brièvement des remarques sur l'action d'une force. Il considère d'abord une force constante, puis montre la généralisation, dans le cas d'une force quelconque, des résultats obtenus.

Prenant pour seule base les définitions de force constante et d'inertie, M. de Bruignac exprime, par une sorte de construction géométrique, l'espace total parcouru sous l'action de la force et de l'inertie. Il fait voir que le résultat s'intègre avec la plus grande facilité, non seulement analytiquement, mais arithmétiquement.

La conséquence principale ressortant de cette forme d'exposé est que l'impulsion élémentaire propre d'une force, $j\,dt^2$, emploie, pour se communiquer à la matière d'une façon permanente, un temps infiniment long comparativement à son étendue. Les définitions de force constante et d'inertie ne permettent pas d'éluder ce résultat.

Le procédé de construction de l'effet de la force, employé précédemment,

se généralise aisément pour le cas d'une force quelconque; il suffit de supposer les impulsions successives différentes entre elles au lieu de les supposer pareilles; le mode de sommation est le même.

De ce procédé de décomposition du phénomène résulte, pour des forces quelconques, une forme générale d'équations faciles à poser dans tous les cas.

M. de Bruignac signale divers aperçus résultant de ce qui précède. Il termine par les suivants:

Lorsqu'un organe moteur a un mouvement plus rapide que celui conforme à l'effet d'une force, le mouvement imprimé est complexe; il est formé partie de vitesse acquise, partie de pur entraînement sans accélération.

Lorsqu'une impulsion de direction variable change notablement de direction, il faut examiner s'il n'en résulte pas des annulations mutuelles d'impulsions qui mettraient en défaut les formules générales.

M. de Bruignac applique ces considérations au cas d'un point inerte mû dans un plan par un rayon vecteur de longueur variable avec centre fixe.

Il fait voir que la formule habituelle du rayon dans ce cas,

$$\frac{d^2r}{r} = d\gamma^2$$

n'est plus applicable, en général, au delà d'un mouvement angulaire γ du rayon vecteur égal à 180°.

Il formule les variations infinitésimales de l'arc et du rayon, dans ce cas, à l'aide d'épures de géométrie infinitésimale, et énonce, sans les développer en ce moment, les résultats suivants :

1° En toute hypothèse sur la nature du mouvement, la différentielle de l'arc a pour expression

$$diff.\ arc = 2\, dr\, d\gamma \pm r\, d^2\gamma,$$

ainsi qu'on le calcule par les procédés ordinaires d'analyse.

2° Lorsque le mouvement angulaire du rayon vecteur, $d\gamma = d\gamma_1 + d\gamma_2$, imprime au mobile un mouvement mixte, en partie de pur entraînement correspondant à $d\gamma_1$ et en partie de vitesse acquise correspondant à $d\gamma_2$, la formule générale du rayon est

$$\frac{d^2r}{r} = d\gamma .\ d\gamma_2$$

expression parfois très différente de la formule $\frac{d^2r}{r} = d\gamma^2$, admise jusqu'ici.

La formule nouvelle que nous donnons est générale; elle rentre dans la formule ordinaire au cas où $d\gamma_2 = d\gamma$.

M. le Président remercie M. de Bruignac de son intéressante communication, qui sera imprimée *in extenso* dans le Bulletin de la Société.

M. Haag a la parole pour exposer son projet de Métropolitain.

Nous nous bornons à résumer ici, brièvement, les explications fournies par M. Haag sur son projet, en nous réservant de les publier *in extenso* dans le Bulletin.

M. Haag insiste, en commençant, sur le caractère distinctif de son projet, qui consiste à combiner la création du Métropolitain, d'une part, avec la liaison directe des grandes gares entre elles, d'autre part avec une opération de voirie devant doter Paris d'importantes rues nouvelles.

Il retrace succinctement les grandes lignes de l'avant-projet primitif, qui n'ont pas été modifiées dans l'étude définitive; il insiste plus particulièrement sur quelques changements de détail.

Le tracé par la rue Montmartre a été définitivement abandonné, parce qu'il est plus économique de percer une voie nouvelle que d'élargir les voies existantes.

Le raccordement avec la ligne du Nord, qui s'effectuait par la plaine Saint-Denis, se fait actuellement au moyen d'une gare souterraine, située sous la gare du Nord elle-même.

Le raccordement avec la ligne de Vincennes se fait par le boulevard Diderot, en dehors de la gare de Lyon.

Abordant ensuite la question de dépenses, M. Haag explique qu'elle a été l'objet d'une étude des plus sérieuses; il s'est proposé de rechercher la vérité sans vouloir s'illusionner en rien, sans vouloir faire illusion aux autres. Le travail a été fait par un homme des plus compétents en matière d'expropriation, M. de Royon, architecte et commissaire voyer de la ville de Paris.

M. Haag insiste beaucoup sur la manière consciencieuse dont ces estimations ont été faites. Il fait ressortir combien les moyennes admises pour le prix du mètre sont élevées, puisqu'elles sont de 3,600 fr. et 4,300 fr. pour les deux premières sections, c'est-à-dire pour la partie comprise entre la gare Saint-Lazare et le boulevard de Sébastopol, et de 1,500 fr. pour la dernière partie du tracé, entre le boulevard de Sébastopol et la gare de Lyon. Même en tenant compte des exagérations du jury, on ne saurait contester ces chiffres.

On a tenu compte des zones latérales à exproprier, pour obtenir la voie définitive, et l'on a admis que, pour les zones elles-mêmes, l'opération, malgré la vente des terrains, se soldait par d'énormes déficits.

En un mot, on s'est placé volontairement dans l'hypothèse la plus défavorable, et l'on est arrivé au chiffre de 493,800,000 fr.

A ce chiffre, il convient d'ajouter encore :

16,500,000 fr. pour la construction du viaduc, y compris l'embranchement de Vincennes;

25,000,000 fr. pour le raccordement avec le chemin de fer du Nord;

4,500,000 fr. enfin, pour la mise en état de viabilité des voies nouvelles;

Ce qui conduit, en nombre rond, au total de 540 millions, qui doit être considéré comme une évaluation très élevée de la dépense.

M. HAAG passe ensuite au chapitre du produit.

L'exécution de son projet équivaut à la création de trois choses distinctes: *une rue*, *des boutiques*, *une ligne de chemin de fer*.

Si la *rue* ne rapporte rien directement, ce n'est pas à dire qu'elle soit sans utilité: il n'y a qu'à constater la circulation de piétons et de visiteurs qui remplit l'avenue de l'Opéra, par exemple, pour se rendre compte de l'utilité publique d'une grande opération de voirie, du genre de celle qui fait partie de son projet. M. Haag fait ressortir toute l'importance qu'aurait la double rue nouvelle, déchargeant la rue du Faubourg-Montmartre, la rue Montmartre, la rue de Rivoli, etc., de la circulation excessive qui les encombre.

Les *boutiques* à créer sous le viaduc auraient une valeur locative considérable, par cela même que les quartiers traversés sont les plus commerçants de Paris et que les expropriations y sont très coûteuses.

Les dessins exposés par M. Mauduit, architecte, montrent tout le parti qu'on peut tirer de ces locaux, au double point de vue de l'aspect extérieur et des aménagements intérieurs.

M. HAAG estime — et c'est aussi l'avis de M. de Royon — qu'avec des locaux très bien aménagés, le rendement des boutiques du viaduc peut atteindre de 5 à 6 millions.

Passant ensuite à l'examen du *chemin de fer*, M. Haag constate que la ligne créée serait d'une exploitation très facile, par cela même que les déclivités y sont faibles et les courbes de grands rayons, et que, d'autre part, elle se prête à l'exploitation par *circuits*, qui est, comme on sait, la condition la plus commode pour les lignes à très grande fréquentation.

L'exécution de ce chemin de fer réalise comme principaux avantages:

1° La liaison des grandes lignes entre elles à travers le centre de Paris, c'est-à-dire la banlieue et les faubourgs transportés directement, sans changement de wagons, au cœur de la ville;

2° La solution rationnelle de la question des logements ouvriers, puisqu'en rapprochant du centre de Paris les quartiers excentriques, il deviendrait possible d'y construire économiquement des maisons ouvrières;

3° D'immenses et évidentes améliorations stratégiques, tant pour la mobilisation des troupes que pour la défense du camp retranché de Paris.

Il faut mentionner encore:

La possibilité pour les trains de grandes lignes d'amener leurs voyageurs au centre de Paris et de les y prendre;

La possibilité de desservir les Halles, devant lesquelles on passe;

La possibilité de se rattacher par un embranchement très court au nouvel Hôtel des Postes dont on pourrait, partiellement du moins, faire le service.

Cherchant à se rendre compte du mouvement probable des voyageurs sur le Métropolitain, M. Haag cite les quelques chiffres suivants :

		Annuellement :
Voyageurs	arrivant et partant de Paris par les gares. . . .	40 millions.
—	transportés par les omnibus et tramways (1881).	180 —
—	par les omnibus de la Madeleine-Bastille. . . .	16 —
—	par les tramways de Bastille-Saint-Ouen. . . .	10 —
—	par les bateaux mouches (1883).	12 —

En présence de ces chiffres, et en considérant qu'à Paris la *masse transportable* est en quelque sorte inépuisable, et que le nombre des voyageurs croît en raison des facilités qu'on leur offre, il est impossible de regarder comme exagérée l'hypothèse de 30 millions pour la grande ligne centrale traversant Paris. A raison de 0 fr. 20 par voyageur, cela représente 6 millions de recette brute. Déduisant de cette somme les frais d'exploitation, que M. Haag calcule à raison de 2 fr. 50 par kilomètre (avec un train dans chaque sens toutes les 5 minutes pendant 20 heures par jour), on arrive à un bénéfice net de 3 millions en nombres ronds.

A ce chiffre, il convient d'ajouter les revenus que pourraient procurer le service des Halles et celui des Postes, ainsi que l'enlèvement des débris des Halles, qui coûte à la ville, annuellement, un forfait de 250,000 fr.

En résumé, en ajoutant au revenu des boutiques celui du chemin de fer, on peut compter sur un produit total de 9 à 10 millions. M. Haag considère ce chiffre comme un minimum.

Passant ensuite en revue les principales objections qui lui ont été faites, M. Haag les réfute successivement.

On a accusé son projet de ne pas se prêter à des extensions ultérieures ; il s'y prête au contraire mieux que tout autre, comme l'indique le plan d'ensemble soumis aux membres de la Société.

On a dit que la création de ce chemin de fer aérien nuirait considérablement à l'aspect artistique de Paris : l'objection tombe mal pour un tracé qui ne touche à aucun monument, ne traverse aucun beau quartier, et qui, créant une rue spéciale sur tout son parcours, ne serait pour ainsi dire visible que de cette rue nouvelle. D'ailleurs, les dessins exposés par M. Mauduit montrent qu'on peut donner au viaduc et à ses magasins un aspect fort satisfaisant.

On a prétendu que les maisons en bordure seraient inhabitables ; M. Haag cite les nombreux exemples de la rue de Rome, de la place de l'Europe, du boulevard Péreire, du boulevard Beauséjour, de la rue de Lyon, etc.

On a affirmé que les magasins situés sous le viaduc se loueraient mal. M. Haag fait appel au témoignage de M. Martin, président de la Société, qui peut affirmer que les boutiques du viaduc de Vincennes se louent très bien malgré leurs aménagements défectueux.

Enfin, mentionnant la plus grosse des objections faites à son projet, celle de la dépense, M. Haag insiste de nouveau sur ce point capital, c'est que son projet comporte non seulement l'exécution d'un chemin de fer, mais encore la création d'une grande rue nouvelle, opération de voirie considérable que les revenus du viaduc permettraient de réaliser à peu près à moitié prix.

M. Haag estime en général qu'aucun métropolitain quel qu'il soit, aérien ou souterrain, ne peut être établi à Paris sans une subvention ou une garantie d'intérêt : la solution souterraine, moins que toute autre, pourrait s'en passer : il cite l'exemple de Londres, dont le Métropolitain est arrivé à rapporter 2 1/2 pour 100 au bout de vingt années d'existence.

M. Haag regrette que les promoteurs du projet souterrain ne soient pas venus eux-mêmes expliquer et défendre leur projet qui, au dire de ses auteurs, devrait être si économique qu'il pourrait, tout en se passant de subventions, enrichir les actionnaires.

M. Haag réfute par quelques chiffres ces assertions chimériquement optimistes.

On a estimé à 3 ou 4 millions l'établissement du souterrain : or, à Londres, l'achèvement du Métropolitain entre Aldgate et Mansionhouse, dont les travaux sont actuellement en cours d'exécution, coûtera plus de 50 millions par kilomètre.

On a dit qu'on n'aurait aucune expropriation à faire ; et le percement de la rue Réaumur — auquel on est revenu dans le tracé actuel et pour lequel le conseil municipal a explicitement déclaré qu'aucune subvention ne serait donnée — est estimé par M. de Royon à la somme de 73,500,000 francs.

Ces chiffres devraient donner à réfléchir aux partisans du système souterrain.

M. Haag n'insiste pas sur les autres objections qui ont été déjà si souvent développées : défaut d'aération, exagération des pentes et des rampes (le profil du projet actuel présente des déclivités de 0,020 sur 2,275 mètres de longueur), courbes de très faibles rayons (150 mètres). En supposant même toutes ces difficultés victorieusement résolues, il se demande comment l'entreprise pourrait vivre, étant réduite comme unique ressource au revenu de la voie ferrée : en effet, avec cette ligne à deux voies seulement, d'une exploitation difficile, sans raccordement direct avec les grandes lignes, il serait absurde de supposer un trafic supérieur à celui qu'il admet pour son propre projet : c'est donc 3 ou 4 millions de bénéfice que l'on pourrait espérer annuellement, à peine de quoi payer les frais de la rue Réaumur.

M. Haag termine en disant qu'il ne se fait aucune illusion sur la situation ; il sait quels partis pris acharnés il a à combattre, mais il remercie la Société des bienveillants encouragements qu'elle a bien voulu lui donner et il affirme son intention de continuer la lutte, espérant que la logique et le bon sens finiront un jour par triompher.

M. le Président. M. Monduit a la parole pour compléter la communication de M. Haag.

M. Monduit. Messieurs, une des dispositions les plus importantes du projet de M. Haag étant l'utilisation du dessous du viaduc par des boutiques, nous avons dû tout d'abord chercher à construire le viaduc de manière à rendre possible l'habitation des entresols de ces boutiques. Aussi avons-nous repoussé le système de construction métallique, dont les trépidations auraient été insupportables, aussi bien pour les riverains que pour les habitants des boutiques, et, pour atténuer le bruit du passage des trains, nous avons pris le parti de faire le viaduc en maçonnerie, en adoptant comme système de construction des arcs en pierre (un sous chaque rail), reliés par des voutains en briques. D'après les renseignements que nous avons recueillis, la hauteur du balast au-dessus de ces arcs, pour empêcher les dislocations de la maçonnerie,nous a paru devoir être de 90 centimètres à 1 mètre, en supposant l'épaisseur de l'arc à la clef égale à $0^m,80$. Il y aurait 1^m 80 environ de distance entre l'intrados des arcs et la voie. D'autre part, comme il est très difficile de rendre les chapes étanches (il y a toujours des fissures qui se produisent), j'ai supposé que chaque boutique serait couverte d'un toit ou terrasse en zinc, par exemple, absolument indépendante du viaduc, de manière à éviter que les eaux de la pluie ou des machines puissent pénétrer par infiltrations dans l'intérieur des habitations.

Quant à la disposition des gares, je me suis occupé spécialement de la gare centrale. A cet endroit, le nivellement donne 12 mètres à $12^m,50$ au-dessus de la voie publique. J'ai pu disposer au-dessous de la salle des pas perdus un vaste espace couvert, servant à la circulation; au besoin, on pourrait y pratiquer des descentes à couvert pour les voitures amenant les voyageurs à la gare. Nous pouvons en effet avoir une hauteur de 4 mètres à $4^m,50$, et ce dessous de la gare pourrait encore servir de refuge pour les piétons, en cas de pluie. Les escaliers sont disposés de manière à ce qu'on en trouve toujours un sans chercher, et de quelque côté qu'on arrive, pour monter à la salle des pas perdus. Celle-ci se compose de deux galeries : d'un côté, la salle des pas perdus pour la banlieue, de l'autre, celle des grandes lignes. Des escaliers, munis d'écriteaux, conduisent de ces galeries aux quais de la gare proprement dite; ces quais sont au nombre de deux, un pour les grandes lignes, l'autre pour la banlieue.

Les deux voies d'une même ligne se trouvent de chaque côté d'un quai, de sorte qu'en arrivant par les vomitoires placés aux extrémités d'un même quai, on n'a pas à traverser les voies pour prendre le train, soit montant, soit descendant. Cette disposition nous a paru préférable à un quai central, où les voyageurs seraient exposés à se tromper de ligne.

Cette disposition de gare pourrait s'appliquer dans la plupart des cas, sauf ceux où le nivellement donnerait une hauteur trop petite.

Maintenant, Messieurs, permettez-moi de répondre à une des grandes objections qu'on a faites à ce projet; on a reproché la monotonie de l'aspect du viaduc. Je crois que l'objection n'est pas bien sérieuse. En effet, si vous

regardez le tracé du chemin de fer, vous voyez que le viaduc est interrompu par de nombreux ponts à la traversée des rues ; les différentes sections de ce viaduc peuvent donc n'avoir aucune concordance architecturale. Dans les dessins qui vous sont soumis, nous nous sommes servis de l'arc de cercle pour les travées dont l'entr'axe est de 8 mètres ; c'est le maximum, je crois, vu la hauteur ; mais en adoptant un entr'axe plus petit, on pourrait prendre une autre disposition, soit le plein cintre, soit l'ellipse, ce qui permettrait déjà d'obtenir une certaine variété. Quant à la variété des boutiques, on y arriverait en les décorant suivant le genre de métier ou de commerce qui y serait exercé. La menuiserie et l'architecture pourraient en être modifiées selon les quartiers.

J'ai supposé, dans les quartiers riches et élégants, une balustrade à jour, en pierre très dure ; pour réaliser la légèreté nécessitée par l'encorbellement et aussi pour l'aspect dans le quartier des Halles, j'ai imaginé là une architecture plus modeste, en brique, et plus en rapport avec le commerce de cette région.

Quant aux ponts, la variété s'obtiendrait d'une manière analogue, en employant ici des poutres droites, à âme pleine ou à treillis, là des arcs pleins ou évidés, ou même des poutres paraboliques.

J'avais adopté ce dernier type dans un premier croquis, pour le pont sur le boulevard, ce genre de poutre pouvant être traité d'une façon très décorative. Je ne vois donc aucun motif pour que le viaduc ne puisse présenter autant de variétés d'aspect qu'il y a de sections ; ce qui serait beaucoup trop, à mon avis.

Pour revenir à la disposition des boutiques, vous voyez que le viaduc en contient deux rangs, un de chaque côté des rues ; dans l'axe se trouvent les escaliers conduisant aux entresols, éclairés si l'on veut par l'entrevoie du milieu. Ceux desservant les sous-sols sont placés dans les vides des piédroits correspondant aux entrevoies. Quant à ces sous-sols, ils peuvent s'étendre jusqu'au bord du trottoir, puisque le terrain appartiendrait à la Compagnie (comme l'a dit tout à l'heure M. Haag).

Voilà, Messieurs, les principales dispositions du projet, au point de vue architectural.

Si vous avez quelques autres renseignements à me demander, je suis entièrement à votre disposition.

M. le Président. Messieurs, l'heure avancée ne nous permettant pas d'ouvrir la discussion, je crois qu'il vaut mieux la remettre à notre prochaine séance, c'est-à-dire, le 3 octobre. M. Haag voudra bien se mettre à notre disposition ; d'ici-là, nous aurons étudié la question ; vous aurez lu le compte rendu, et chacun pourra présenter ses objections.

MM. l'amiral Pâris et Pasteur ont été nommés membres honoraires, et MM. Coudère, Granmasson, Kœchlin, Rumler et Thomas, membres sociétaires.

La séance est levée à onze heures.

REMARQUES

SUR

L'EFFET D'UNE FORCE

PAR M. **DUROY DE BRUIGNAC.**

Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils.

Je ne me propose pas de refaire, pour elle-même, la démonstration de l'effet d'une force constante ; elle a été bien faite, diversement ; et, en particulier, il paraît difficile de dépasser, en concision et élégance, la démonstration qui consiste à déduire l'équation par un court calcul, après avoir simplement posé comme définitions : $\frac{ds}{dt} = v$; $\frac{dv}{dt} = j$.

Mais la démonstration que je vais donner, beaucoup moins brève que la précédente, a pour objet de mettre en lumière certains détails dont j'ai à m'occuper.

Nous allons construire l'équation à l'aide, seulement, de la définition de force constante et de la notion de l'inertie.

Une force constante est celle dont l'effet propre est toujours le même pendant le même temps.

L'inertie est la propriété qu'a la matière de ne jamais changer d'elle-même l'état dans lequel elle est placée. — On pourrait dire par suite, sans aucune erreur d'application, que la matière conserve toujours les impulsions qu'elle a une fois reçues ; en sorte qu'un corps en repos est celui animé de toutes les impulsions reçues depuis le début de son existence, dont la somme algébrique est nulle. Mais il n'est pas utile de s'arrêter ici à cette conception générale.

D'après ces définitions, on construira le mouvement dû à une force constante, si l'on détermine l'effet propre de cette force pendant un instant, et que l'on reproduise cet effet à chaque instant, à cause de l'inertie.

On pourrait, pour prendre la voie la plus générale, supposer arbi-

1. Cette étude a été faite à l'occasion de *recherches sur les hélices propulsives.*

trairement par hypothèse l'effet propre de la force et construire le mouvement comme il vient d'être dit ; on verrait alors si ce résultat convient aux faits observés et aux exigences mathématiques. On pourrait aussi isoler l'effet propre d'une force en différentiant entièrement une fonction connue d'un mouvement causé par cette force ; puis construire le mouvement par la voie que nous signalons.

Pour ne pas nous attarder sans profit à une marche purement théorique, nous supposerons d'abord que l'action élémentaire de toute force soit, comme celle de la pesanteur, un infiniment petit du second ordre, $j\,dt^2$; j étant un coefficient constant d'abord indéterminé.

L'effet propre d'une force à l'état dynamique ne peut être qu'un mouvement ; j est donc la longueur de l'impulsion élémentaire, due à l'action propre de la force, rapportée à l'unité de temps.

Cette impulsion étant donnée, voici comment le mouvement total doit évidemment être construit, en tenant compte de l'inertie.

La première impulsion élémentaire $j\,dt^2$, produite pendant le premier instant, se reproduira à chaque nouvel instant en vertu de l'inertie, c'est-à-dire que le mobile conservera à chaque instant le mouvement de cette première impulsion ; de même la deuxième impulsion élémentaire produite au deuxième instant, viendra coexister avec la première, et se reproduira de même à chaque instant ; de même pour la troisième impulsion, et ainsi de suite, indéfiniment.

En sorte que l'espace S, parcouru sous l'action de la force constante, pendant un temps T divisé en instants dt, est

$$(1)\quad S = j\,dt^2 + 2j\,dt^2 + 3j\,dt^2 + 4j\,dt^2 + \ldots Nj\,dt^2 ;$$

cet espace pouvant être considéré de deux manières : ou bien comme la somme, dans l'ordre naturel, du nombre d'impulsions élémentaires (l'une nouvelle et les autres répétées), existant à chaque instant ; — ou bien comme la somme, en sens inverse de l'apparition, de chaque impulsion particulière avec son coefficient de répétition durant le temps compris entre son apparition et la fin de T, autrement dit, avec son coefficient de répétition à l'instant final de T[1]. — On comprend, en

1. Si l'on représente la somme S des impulsions élémentaires par la figure suivante

S = — = ≡ ≣ ≣ . . . etc.

on remarquera que les deux manières d'envisager l'intégrale reviennent à additionner les impulsions par tranches verticales ou par tranches horizontales.

effet, que chaque impulsion particulière, considérée à la fin de T, est répétée un nombre de fois égal au nombre d'instants écoulés depuis son apparition jusqu'à la fin de T ; et que ces nombres sont les mêmes en somme, mais disposés en sens inverse, que les nombres d'instants successifs considérés à partir de l'origine.

Selon la première acception, on remarque que les coefficients numériques de la suite (1) reviennent à

$$\frac{1\ dt}{dt}, \qquad \frac{2\ dt}{dt}, \qquad \frac{3\ dt}{dt}, \text{ etc.}$$

expression dont la formule générale est $\frac{t}{dt}$.

Selon la deuxième acception, on remarque que les coefficients numériques de la suite (1) ont pour formule générale $\frac{T - t}{dt}$[1], en nommant t le temps auquel une impulsion apparaît. Si l'on mesurait le temps à partir de la fin de T, le coefficient général $\frac{T - t}{dt}$ deviendrait $\frac{t}{dt}$, comme dans la première acception.

Par suite, l'expression (1) prend l'une ou l'autre des formes générales suivantes :

Dans le premier cas

$$(2) \qquad S = \int_0^T j\, dt^2\, \frac{t}{dt} = \int_0^T j\, t dt = \frac{1}{2}\, j\, T^2$$

dans le second cas

$$(2') \quad S = \int_0^T j\, dt^2 \frac{T - t}{dt} = \int_0^T j\, (T\, dt - t\, dt) = j\, T^2 - \frac{1}{2} j\, T^2 = \frac{1}{2} j\, T^2.$$

On peut faire cette somme sans intégration, en remarquant que les coefficients numériques de l'expression (1) forment une progression arithmétique.

1. C'est cette formule qui m'a suggéré le théorème d'analyse en vertu duquel on peut toujours poser

$$\int\int \cdot \cdot \int_0^x f(x)\, dx^n = \int \cdot \cdot \int_0^x f(x)\, dx^{n-1} (x - x);$$

ce qui permet toujours d'abaisser d'une unité l'ordre d'une intégrale.

$$S = j\,dt^2\left(1+2+3+4\ldots+\frac{T}{dt}\right) = j\,dt^2\,\frac{\left(1+\frac{TT}{dtdt}\right)}{2}$$

$$= \frac{1}{2}(j\,T\,dt + j\,T^2) = \frac{1}{2}\,j\,T^2\,{}^{(1)}.$$

On peut encore s'appuyer sur la considération des vitesses.

$j\,dt^2$ étant la différentielle d'espace parcourue pendant dt sous l'action immédiate de la force, la différentielle de vitesse sera $\frac{j\,dt^2}{dt} = j\,dt$ [2].

Cette même différentielle de vitesse étant acquise à chaque instant égal dt, par suite de la constance d'action de la force, la vitesse acquise pendant $t = 1$ est j ; et, à la fin des temps 2, 3, 4... la vitesse sera $2\,j$, $3\,j$, $4\,j$, etc.

Par conséquent, les vitesses moyennes pendant ces temps seront

$$\frac{1}{2}\,j;\ \frac{1}{2}\,2\,j;\ \frac{1}{2}\,3\,j;\ \frac{1}{2}\,4\,j,\ \text{etc};$$

Par suite, les espaces parcourus, produits de la vitesse moyenne par le temps, seront :

pour $t = 1$, espace parcouru $= \frac{1}{2}j \times 1 = \frac{1}{2}j \times 1 = \frac{1}{2}\,j\,t^2$

» $= 2$, » $= \frac{1}{2}2j \times 2 = \frac{1}{2}j \times 4 =$ »

» $= 3$, » $= \frac{1}{2}3j \times 3 = \frac{1}{2}j \times 9 =$ »

» $= 4$, » $= \frac{1}{2}4j \times 4 = \frac{1}{2}j \times 16 =$ »

La démonstration générale connue, rappelée au début de cette note, permet d'inférer que l'impulsion élémentaire ne peut être que du second ordre. En effet, puisque le calcul, basé sur les seules définitions, conduit à une équation du deuxième degré, c'est sans doute qu'il ne peut pas en être autrement. Mais il est intéressant de le montrer directement.

1. Le terme ici négligé comme infiniment petit représente l'erreur du procédé de différentiation.

2. Une différentielle 1re de vitesse, c'est une différentielle 1re d'espace parcourue pendant un temps fini ; ou, en général, une différentielle d'espace d'ordre $(n + 1)$ parcourue pendant une différentielle de temps d'ordre n. C'est donc un espace $j\,dt^2$ parcouru pendant le temps dt.

Dans l'hypothèse la plus générale sur l'expression de l'espace S parcouru dans le temps T, la formule (2) deviendra

$$(3) \qquad S = \int\int (\text{en nombre } p)\, j\, dt^m \frac{t}{dt^n};$$

il faut voir quelles valeurs p, m, n, peuvent prendre simultanément.

1° Pour que S ait une valeur finie, comme l'expérience l'exige, il faut que p soit égal à l'exposant de dt après la réduction $\frac{dt^m}{dt^n}$; donc $p = m - n$.

2° D'après l'équation (2), le nombre des intégrations doit égaler l'exposant du diviseur de t, puisque l'on intègre des multiples d'impulsions de même nombre que les instants en lesquels t a été divisé; donc $p = n$.

3° Après p intégration, l'exposant de t, qui est toujours 1 dans la formule (3), doit être m, c'est-à-dire celui indiqué par l'expérience, en vertu de laquelle on a posé *a priori* que l'impulsion élémentaire était $j\, dt^m$; donc $p + 1 = m$.

De ces trois équations résulte : $p = 1$, $n = 1$, $m = 2$.

Il y a lieu de remarquer la netteté avec laquelle ces divers procédés de calcul, basés seulement sur les définitions de force constante et d'inertie, atteignent le résultat. Cela, joint à la rigueur des déductions, permet de regarder cet ordre de considérations comme certain, et d'admettre les conséquences suivantes qu'il suggère.

L'action élémentaire du deuxième ordre emploie, pour se communiquer à la matière d'une façon permanente, un temps différentiel du premier ordre, sans quoi l'espace parcouru pendant un temps fini serait infiniment grand ou infiniment petit, ce qui est contraire à l'expérience.

On pourrait prétendre que l'impulsion élémentaire $k\, dt^2$ est imprimée à la matière et acquise par elle pendant un instant du deuxième ordre, et que l'action de la force est suspendue pendant le reste de dt. Mais cette hypothèse arbitraire, qui répugne à la définition de force constante, exigerait que l'effet de l'inertie fût suspendu en même temps que celui de la force, ce qui est absolument contraire à la notion d'inertie; il faut donc accepter la déduction précédente.

Tout ce qui est essentiel dans l'exposé précédent s'appliquerait évidemment à l'action d'une force variable quelconque ; ou, ce qui revient

au même, à l'action de forces différentes successives; comme aussi à toutes forces, ou groupes de forces, simultanés, successifs ou s'ajoutant successivement, dans des conditions quelconques; — en un mot, la décomposition précédente s'applique à un cas quelconque; — on peut donc le généraliser comme nous le ferons dans la suite.

Corollaire. L'impulsion propre due à une force finie, pendant un temps fini, est infiniment petite. — L'effet fini des forces finies résulte de la répétition des impulsions élémentaires due à l'inertie.

Cette notion peut surprendre, mais elle n'a rien de contradictoire avec les faits observés.

Par exemple, si l'on tient à la main, immobile, un objet assez lourd, les muscles ont à résister sensiblement : c'est pour équilibrer le poids de l'objet, force finie à l'état statique.

Si l'on élève ou abaisse la main rapidement, l'impression du poids varie sensiblement; c'est l'effet de l'impulsion de la force à l'état dynamique en sens positif ou négatif. Mais ce n'est pas le résultat de l'impulsion de la force seulement; car, dans cet instant très court, les impulsions propres se sont produites en nombre infini, et l'inertie les a reproduites de manière à former un total fini, appréciable à nos sens.

Remarque I. Le corollaire précédent explique peut-être pourquoi certaines forces semblent avoir besoin d'être mises à l'état de liberté infinitésimale pour pouvoir s'exercer.

Cela a lieu, par exemple, pour les forces moléculaires dans les combinaisons de la chimie. Si cette science n'existait pas, on pourrait induire de ce qui précède que la combinaison des corps serait facilitée par la dissociation de leurs molécules, par dissolution, fusion, ou même simple division mécanique, comme dans le cas de la poudre.

Le même aperçu appuierait ce fait trop négligé, que certaines substances ont des effets très différents, quoique toujours positifs, selon le titre de leurs dissolutions.

Remarque II. On peut trouver probable que l'étendue de l'impulsion élémentaire, voulue par la loi des nombres, corresponde au déplacement complet des molécules entre elles. Alors, les molécules seraient des infiniment petits du second ordre.

On manque aujourd'hui de base d'évaluation à cet égard; mais, si l'on admet comme vraisemblable qu'un infiniment petit est à un millimètre cube comme celui-ci est à la terre on obtient

$$1 \text{ infiniment petit du premier ordre} = \frac{1^{m}/^{m} \text{ cube}}{(\text{l'unité suivie de 30 zéros})};$$

$$1 \quad — \quad \text{second ordre} = \frac{1^{m}/^{m} \text{ cube}}{(\text{l'unité suivie de 60 zéros})};$$

Ce résultat n'est pas en désaccord avec les quelques indications que la science a fournies.

Remarque III. Le procédé que nous avons employé pour construire l'effet d'une force constante, s'étendrait aisément à une force variable en intensité et direction, ou à des forces quelconques successivement appliquées.

Soit un point matériel mobile, doué d'inertie, entraîné dans un plan par une force variable, ayant une action élémentaire $f(t)\, dt^2$ qui fait un angle variable α avec l'axe des x; il est clair que les différences des coordonnées d'une portion de trajectoire comprise entre les positions de la force d'angles α_0 et A seront

$$(1)\qquad \begin{aligned} X - x_0 &= \int_{\alpha_0}^{A} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} f(t)\, dt^2 \cos \alpha; \\ Y - y_0 &= \int_{\alpha_0}^{A} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} f(t)\, dt^2 \sin \alpha. \end{aligned}$$

α_1 est la limite supérieure variable de chaque intégrale du second ordre. Dans ces intégrales secondaires, correspondant aux termes de l'expression (1), la limite α_1 varie de α_0 à A; ensuite, toutes ces intégrales secondaires sont intégrées à leur tour de α_0 à A.

Supposons, comme autre exemple, le mobile doué d'inertie entraîné par une force variable, dont l'action élémentaire $f(t)\, dt^2$ soit exercée dans un plan par un rayon vecteur, normalement à lui; le centre de rotation étant situé sur l'axe des x à une distance r_0 de l'origine des coordonnées rectangulaires, ω étant l'angle du rayon vecteur avec

l'axe des x, et le mobile partant de l'origine; on reconnaîtra sans peine que les coordonnées de la trajectoire seront, après un temps T correspondant à Ω et R :

(5)
$$Y = \int_{0\,r_0}^{\Omega\,T\,R} \int_{0\,r_0}^{\omega_1\,t_1\,r_1} f(t)\,dt^2 \cos\omega,$$

$$X = \int_{0\,r_0}^{\Omega\,T\,R} \int_{0\,r_0}^{\omega_1\,t_1\,r} f(t)\,dt^2 \sin\omega.$$

En sorte que l'on pourrait poser

$$tg\,\Omega = \frac{Y}{r_0 - X}\,;\ \text{ou bien}\ \sin\Omega = \frac{Y}{R},\quad \cos\Omega = \frac{r_0 - X}{R},$$

si l'on connaissait la valeur de R.

Remarque IV. Il résulte des généralités précédentes qu'il faut tenir compte, dans les applications : 1° de la lenteur avec laquelle la matière s'approprie le mouvement, autrement dit acquiert de la vitesse ; 2° de la réduction des impulsions entre elles lorsque leurs angles diffèrent suffisamment.

Si, par exemple, l'organe qui, ordinairement, exerce la force, a un mouvement propre quelconque plus rapide[1] que celui conforme à l'effet de la force, le mouvement du mobile est complexe : en partie acquis à mesure de l'action de la force, en partie subi par pur entraînement. Il faut discerner ces mouvements si l'on a besoin de distinguer quelle partie de la trajectoire le mobile arrive à parcourir de lui-même.

Si un point matériel inerte, c'est-à-dire capable d'accélération, était poussé en ligne droite par un organe animé d'une vitesse constante j, ce point, pendant le premier instant dt, serait entraîné de $j\,dt$, mais en n'acquérant que $j\,dt^2$ par inertie, et parcourant $j\,(dt - dt^2)$ par pur entraînement... Après 1″, le point aurait acquis la vitesse j et continuerait à se mouvoir, avec cette vitesse, au contact de l'organe sans en subir de pression.

1. Je n'examine pas le cas d'un mouvement de l'organe moins rapide que l'effet d'une force, parce que cela n'a lieu que lorsque l'action cesse.

Si ce point était placé dans les conditions des formules (5), avec cette seule différence que le rayon vecteur eût un mouvement angulaire uniforme, ce point subirait d'abord un entraînement supérieur à la vitesse qu'il acquerrait; ensuite, comme on le verra plus loin, il en viendrait à acquérir à mesure toute la vitesse imprimée par le rayon vecteur... Après une évolution de 180°, il se produirait des phénomènes dont nous allons parler.

Car, lorsque l'inertie peut s'exercer indéfiniment sans entrave, comme dans les exemples théoriques que nous prenons, la variation de l'angle en vient à donner des impulsions de signes contraires qui se compensent plus ou moins.

Supposons que le rayon vecteur de la formule (5) se meuve de façon à causer une impulsion constante $k\,dt^2$ à tous les rayons[1], et admettons, pour simplifier (ce qui n'est pas tout à fait vrai), que les angles varient uniformément : la vitesse acquise du point, à chaque instant, sera la corde d'un arc de cercle égal à la somme des impulsions $k\,dt^2$, et dont le premier élément sera toujours normal à r_0... Après une évolution du rayon de 90°, la vitesse du point fera 45° avec le rayon dans le sens du mouvement angulaire; après 180°, cette vitesse sera en prolongement du rayon; après 270°, elle fera 45° avec le rayon dans le sens négatif quant au mouvement angulaire, mais positif quant à l'accroissement du rayon; — celui-ci décroîtra cependant, comme on le verra; — après 360°, la vitesse acquise du mobile sera algébriquement nulle; il recommencera sa trajectoire semblablement, mais avec un nouveau rayon initial dont nous ne chercherons pas ici la valeur.

Ce cas, bien qu'un peu arrangé comme nous l'avons dit, donne la physionomie de ce qui se passe en semblables circonstances.

On voit qu'on ne peut pas employer sans réserve l'équation calculée pour ce cas par la mécanique générale (Duhamel, I, 242).

$$(6) \qquad \frac{d^2 r}{r} = d\,\gamma^2.$$

Cette expression, intégrée pour ce cas, sinon rigoureusement du moins approximativement (J. A. Serret, II, 703), donne :

1. La figure 16 donne une épure approximative de ce mouvement (ces numéros de figures sont ceux des *Recherches sur les hélices*). Le contour en pointillés, 0, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, correspond à l'intégration des coordonnées faite par la méthode simplifiée signalée en note ci-dessus.

$$r = \frac{1}{2} r_0 \left(e^{\gamma\sqrt{m}} + e^{-\gamma\sqrt{m}}\right); \tag{7}$$

γ exprimant ici une longueur, cette formule du rayon donne une valeur toujours croissante avec γ, ce qui est contraire aux indications précédentes.

Ce n'est pas que la mécanique générale se trompe en disant que l'expression (6) a lieu « quelle que soit la direction de la surface conique décrite par le rayon vecteur » (cas général); seulement, elle suppose implicitement que l'impulsion normale au rayon vecteur est toujours effective[1] et positive, ce que l'accumulation des vitesses élémentaires acquises vient parfois empêcher.

Dans le cas d'une hélice propulsive, où la particule fluide parcourt l'aube en bien moins de I″, et par un mouvement angulaire de peu de degrés, cette particule fluide est beaucoup moins accélérée qu'entraînée; c'est du reste la condition nécessaire de sa résistance, laquelle cause la propulsion. Il importe donc, pour ce cas, de savoir ce que devient l'équation précédente du rayon, lorsque l'entraînement simple est considérable.

Les figures 16, 17, 18, et 19 (pl. 79) permettent d'apprécier, dans le cas général des formules (5) et (6), l'effet de l'entraînement avec et sans accélération. Les démonstrations seront faites dans les conditions ordinaires des épures infinitésimales, c'est-à-dire en négligeant seulement les quantités infiniment petites relativement à celles considérées. Nous supposerons les déplacements angulaires égaux; le cas plus général se déduira aisément.

1° Examinons d'abord le mouvement avec accélération.

Soient CA, CB, CD, etc. (fig. 17), des positions du rayon vecteur concourant au centre commun C. Les rayons CA, CB, CE font entre eux le même angle infiniment petit $d\gamma$. Au début des mouvements considérés, un point inerte, c'est-à-dire capable d'accélération, se mouvant dans le plan de la figure sous la seule impulsion du rayon, occupe le point A.

Pendant que le rayon passera de CA en CB par suite du mouvement angulaire $d\gamma$, le point parcourra une résultante AB par suite des vitesses antérieurement acquises et de l'impulsion $k\,dt^2$ du rayon; k est un

1. L'impulsion est toujours effective; mais cet effet disparaît d'une certaine manière lorsqu'il consiste à annuler une vitesse précédemment acquise.

coefficient quelconque, qui ne sert ici qu'à spécifier l'impulsion *conservable* du rayon, qui est infiniment petite du second ordre.

Dans le mouvement suivant $d\gamma$, le rayon passant de CB en CE, le point, par suite de l'inertie, parcourra BD égal à AB et dans son prolongement, le rayon entraînera le point inerte de D en E, en sorte que la résultante sera BE. Il faut évaluer DE.

L'angle $CAD = CAB + d\gamma$. Si l'on mène BC′ tel que $CBC' = d\gamma$, on a $C'BD = CAB$. Si, menant le rayon DC, on considère comme rigide la portion de polygone vue C′BDC, et qu'on la fasse pivoter de $d\gamma$ autour de B, elle viendra occuper la position CBD′C″ ; le rayon CD et sa position après déplacement C″D′, qui se croiseront peu au-dessous de H, feront entre eux l'angle $d\gamma$, en sorte qu'on aura $OD' = dr\, d\gamma$.

D'ailleurs, la portion de triangle vue CBD′C sera identique à CABC, en sorte que $AA' = A'A'' = BB'$. Par suite, $B'B'' = D'D'' = dr\, d\gamma$.

Donc $DE = 2\, dr\, d\gamma$.

Si l'on a : angle $BCE = d\gamma' \lesseqgtr d\gamma$, on aura

$$DE = dr\,(d\gamma + d\gamma') \pm r\, d^2\gamma = 2\, dr\, d\gamma \pm dr\, d^2\gamma \pm r\, d^2\gamma$$
$$DE = 2\, dr\, d\gamma \pm r\, d^2\gamma,$$

tant que $d^2\gamma$ est du second ordre.

La différentiation donne le même résultat[1].

On atteint le même but par une voie générale qu'il est bon d'indiquer :

$$O'D'' = d\gamma\,(r + 2\, dr) = r\, d\gamma + 2\, dr\, d\gamma\,;$$

or, on voit facilement que $A'A'' = r\, d\gamma = BB' = O'O$;

donc $$OD'' = DE = 2\, dr\, d\gamma.$$

1. En effet si l'on différentie l'expression

$$R \sin \Gamma = \int_0^{\Gamma T} \int_0^{\gamma,\ t,} K\, dt^2 \cos \gamma,$$

par simple suppression du signe pour le second membre, comme on démontre qu'il faut le faire dans ce cas, on obtient

$$tq\, \Gamma\,(d^2 R - R\, d\Gamma^2) + 2\, dR\, d\Gamma + R\, d^2\Gamma = K\, dt^2.$$

Or, le premier terme s'annule, parce que, comme on va le voir, on a $\frac{d^2 r}{r} = d\gamma^2$, tant que $d\gamma$ est du second ordre ; il reste donc

$$2\, dr\, d\gamma + r\, d^2\gamma = k\, dt^2.$$

La quantité $k\, dt^2$ est ici D E.

Si l'on remarque les triangles rectangles et semblables DOD', DHB, on trouvera

$$\frac{DO}{OD'} = \frac{BH}{HD'}, \text{ ou bien } \frac{d^2r}{dr\,d\gamma} = \frac{rd\gamma}{dr}, \; \frac{d^2r}{r} = d\gamma^2,$$

ainsi que le calculait la Mécanique.

Dans les cas où les variations angulaires sont différentes, $d\gamma$ et $d\gamma'$, on a évidemment,

$$\frac{d^2r}{dr\;d\gamma} = \frac{r\,d\gamma'}{dr}, \; \frac{d^2r}{r} = d\gamma\;d\gamma' = d\gamma^2 \pm d\gamma\;d^2\gamma;$$

ce qui revient à la première expression tant que $d^2\gamma$ est du second ordre.

On remarque que cette décomposition reste vraie, lors même que la seconde résultante serait BE', très en arrière de BD, moyennant que $d^2\gamma$ soit du second ordre, sans quoi la similitude n'existe plus.

Du reste, lorsque $d^2\gamma$ est du premier ordre, DE ou DE' devient partie accélération et partie entraînement, et on rentre par là dans le cas suivant.

2° Examinons maintenant ce second cas, celui du mouvement mixte, partie par vitesse acquise et partie par entraînement simple.

Soit, figure 18, une épure analogue à la figure 17, mais dans laquelle la résultante donnée AB est composée de deux éléments : un simple entraînement AA' et une résultante d'impulsions antérieurement reçues A'B. Nous supposerons d'abord que $d\gamma = d\gamma'$, et $d\gamma_1 = d\gamma_2$.

Si l'on prolonge AB en D''', d'une quantité égale à lui-même, on aura D'''E' $= 2\,dr\;d\gamma + r\,d^2\gamma$, comme on l'a vu par la figure 17, car la démonstration est indépendante de la composition de AB.

A la fin du mouvement $d\gamma'$, le point mobile, d'abord situé en B, est arrivé en E, après avoir subi un entraînement simple BB' normal au rayon, une résultante d'impulsions antérieures B'D égale et parallèle à A'B, et l'impulsion nouvelle du rayon vecteur DE.

Si l'on fait, comme dans le cas de la figure 17, subir à B'D une rotation B'D', donnant un angle D'B'C = BA'C $= d\gamma_2 + d\gamma_1 = d\gamma$, on aura par suite les triangles semblables DOD', B'HD, qui donneront pareillement :

$$\frac{\text{DO}}{\text{OD}'} = \frac{\text{B}'\text{H}}{\text{HD}}, \quad \frac{d^2r}{dr\,d\gamma} = \frac{r\,d\gamma_2}{dr}, \quad \frac{d^2r}{r} = d\gamma\,d\gamma_2\,(^1).$$

On voit que, lorsque le mouvement se compose d'une partie notable d'entraînement simple, la valeur de d^2r est profondément altérée ; et, sans rechercher ici quelles peuvent être les possibilités d'intégration dans ce cas, on remarquera que le rayon calculé par la formule

$$\frac{d^2r}{r} = d\gamma\,d\gamma_2$$

sera certainement plus petit que celui résultant de la formule habituelle

$$\frac{d^2r}{r} = d\gamma^2.$$

La formule $\frac{d^2r}{r} = d\gamma\,d\gamma_2$ est générale ; celle de la figure 17 y revient pour le cas où $d\gamma_2 = d\gamma$.

Quelle est, dans le cas de la figure 18, l'accélération totale du mobile ? C'est DE, plus, sans doute, une partie de BB′ aussi grande que possible moyennant qu'elle ne dépasse pas un infiniment petit du second ordre.

3° Supposons en troisième lieu, le cas où le mobile, bien que toujours entraîné par le rayon comme une boulette traversée par une tringle, serait animé d'une vitesse en sens inverse du mouvement angulaire.

Soit, figure 19, CB et CB′ deux positions successives du rayon vecteur ; le mobile, d'abord en A, est animé d'une vitesse résultante AD (rapportée à $d\gamma$), qui le conduirait en B pendant la durée du mouvement $d\gamma$, AB étant la projection de AD sur CB. Après le mouvement $d\gamma$, CB va en CB′, BB′ étant un arc parallèle à AA′. Mais, tandis que CB′ fait un angle $d\gamma$ avec sa position précédente CB, la résultante supposée appli-

1. Dans le cas où $d\gamma_1 = d\gamma_2$, cela donne $\frac{d^2r}{r} = \frac{1}{2}\,d\gamma^2$.

En général $\frac{d^2r}{r} = \frac{1}{n}\,d\gamma^2$, n étant un nombre plus grand que 1, mais variable ordinairement ; $\frac{1}{n}$ est le rapport de $d\gamma_2$ à $d\gamma$; $\frac{1}{n}$ est ici l'exposant m de l'expression (7). Le plus souvent, en pratique, $\frac{1}{n}$ est variable, et l'expression (7), où m est constant, ne peut s'employer qu'avec des hypothèses de simplification rendant $\frac{1}{n}$ constant.

quée en A′ est A′ D′, égale et parallèle à DA, et, pendant le mouvement $d\gamma$, elle fait parcourir au mobile sa projection sur CB′, c'est-à-dire A′E; en sorte que le rayon vecteur a diminué d'une quantité B′E dont l'expression sera

$$B'E = AD\,(\cos\alpha - \cos(\alpha + d\gamma)),$$

ou bien

$$d^2r = -V\,dt \sin\alpha\, d\gamma,$$

en posant DAB $= \alpha$, et nommant V la résultante AD rapportée à 1″.

Pendant ce mouvement, le rayon vecteur a communiqué au mobile une impulsion, normale au rayon, d'une étendue de même ordre que B″B′... Les choses continuant ainsi indéfiniment, le rayon continuera à décroître diversement pendant un certain temps; après une évolution de (270° — α), AD commencera à agir dans le sens de l'accroissement positif du rayon, la résultante des impulsions étant ce que comporte la loi de variation de γ...

Mais il reste, au point de vue de cette étude, que, dans le cas de la figure 19 comme dans celui de la figure 18, la variation du rayon n'est pas représentée par la formule (6). Celle-ci n'est exacte que si le mouvement se transforme entièrement en vitesse acquise, et pour une évolution angulaire ne dépassant pas ordinairement 180°.

NOTE

SUR LES

MAGASINS GÉNÉRAUX DE LA SEINE

A BERCY-CONFLANS

PAR M. DEHARME

Les Magasins Généraux de la Seine, élevés par le Sous-Comptoir du Commerce et de l'Industrie, à la limite des fortifications de Paris, entre le chemin de fer de Lyon et la Seine, présentent une construction de 8,000^{m2} de surface à six étages, capable de recevoir :

au rez-de-chaussée. . .	4,760	tonnes de vin en fûts,
aux divers étages. . . .	45,850	tonnes de marchandises.
Soit ensemble.	50,610	tonnes de marchandises diverses.

En raison de leur importance, du mode adopté pour leur construction, de la rapidité avec laquelle ils ont été exécutés, ils nous ont paru offrir un intérêt particulier et mériter une description spéciale.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

L'emplacement choisi pour l'établissement de ces magasins, a été déterminé par sa proximité de Paris et par la facilité des communications à établir, d'une part avec le chemin de fer de Lyon et les autres voies ferrées en empruntant le chemin de fer de Ceinture contigu et, d'autre part, avec la Seine qui n'en est distante que de 260^{m}.

On ne s'est pas préoccupé des difficultés et des sujétions qui résulteraient du défaut d'horizontalité du sol et de la mauvaise nature du terrain sous-jacent.

De l'entrée à la sortie des magasins, sur une longueur de 128^{m},64, il existe une différence de niveau de 1^{m} 02, soit une déclivité de 0^{m},007 par mètre. Pour la circulation des voitures, l'inconvénient est faible; pour celle des wagons, qui doivent pouvoir entrer dans les magasins et y circuler de manière à permettre le chargement et le déchargement des marchandises dans les conditions les plus favorables, la gène n'est pas négligeable. Mais, en outre, la nécessité de réserver entre les rails, au point le plus élevé, et le dessous des poutres du premier étage, la hauteur du gabarit du chemin de fer de Ceinture a obligé à donner au rez-de-chaussée une hauteur de 1^{m},02 plus considérable qu'il n'eût été nécessaire si le terrain avait été de niveau, ce qui a augmenté la dépense de premier établissement et ce qui augmente la dépense quotidienne de montage des marchandises à tous les étages.

Quant à la mauvaise nature du sol, elle devait avoir pour conséquence d'accroître les difficultés d'assiette du bâtiment et ce, dans une proportion d'autant plus grande, que les charges prévues étaient plus considérables, sujettes à de plus nombreuses variations et plus inégalement réparties et que les trépidations provenant du roulage des marchandises à chaque étage devaient être incessantes.

Il n'y avait pas lieu de chercher à rétablir l'horizontalité du terrain; il fallait niveler le rez-de-chaussée, de manière à pouvoir le raccorder avec les chaussées des voies publiques qui entouraient les magasins. C'est ce qui a été fait. Nous avons été ainsi conduit à adopter les dispositions générales figurées au plan (pl. n° 80, fig. 1) : une grande travée centrale traversant les Magasins dans toute leur longueur; deux travées secondaires, l'une à droite desservant le 1er bâtiment, l'autre à gauche desservant le second; la première de 10 mètres de largeur avec voie de fer au centre et voies charretières de part et d'autre; la seconde de 7 mètres de largeur, avec voie de fer sur le côté et voie charretière sur le côté opposé.

Quant au périmètre du bâtiment, il devait être tel qu'il utilisât le mieux possible le terrain donné. Rien n'empêchait que ce bâtiment fût en façade sur les rues périphériques. Mais il devait, pour que des jours fussent ouverts, rester distant de 2 mètres des propriétés voisines qui n'avaient pu être acquises, eu égard au prix élevé qu'on en demandait. De là sont résultées les courettes d'isolement aboutissant aux deux angles rentrants.

C'est au mois de mai 1881 que j'ai été chargé de dresser le cahier

des charges de la construction de ces bâtiments. Il avait été entendu que les travaux à exécuter feraient l'objet d'un forfait à la suite d'un concours entre un certain nombre de constructeurs choisis. D'accord avec M. Boutillier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, conseil de la Société, il fut convenu que le programme à remettre aux divers concurrents, indiquerait le périmètre du bâtiment, le tracé des voies de circulation, les poids à admettre par mètre carré et par étage, savoir :

au 1er étage.	1,500 k
— 2e —	1,250
— 3e 4e 5e, chacun 1,000 k, soit.	3,000
— 6e —	800
Ensemble. . . .	6,550 k par m²

de projection horizontale, et les conditions principales à remplir pour l'aérage, l'éclairage, etc. ; mais laisserait toute latitude sur les dimensions à donner aux travées et sur le choix des matériaux à adopter. Les fouilles devaient être descendues jusqu'au terrain solide à la rencontre de l'eau.

Six projets furent remis : un seul prévoyait l'emploi exculsif du bois, comme dans les magasins généraux construits depuis longtemps par M. Vuigner, à la Villette ; mais un examen rapide suffit pour démontrer que les dispositions et les dimensions prévues pour les bois étaient tout à fait insuffisantes et ne pouvaient être admises.

Parmi les cinq projets restants, deux durent être éliminés en raison du prix élevé qu'ils comportaient.

Il restait trois projets : ceux de MM. Eiffel, Moisant, Seyrig, différant peu comme prix, mais nécessitant quelques modifications :

C'est après une revision de ces projets faite par chacun de ces concurrents que le Conseil d'Administration du Sous-Comptoir décida de confier l'exécution de cette importante entreprise à M. Moisant pour la somme à forfait de 1,950,000 francs.

Le plan que vous avez sous les yeux représente les dispositions essentielles de ce projet.

Le pourtour est tracé ainsi que nous l'avions prescrit ; quant aux travées, elles ont :

dans le 1er bâtiment. . . .	5m,992 sur 4m,804
— 2e — . . .	5m,808 sur 5m,325 en général.

Les escaliers, les grandes ouvertures d'aérage, les trémies de montage sont disposés convenablement et de manière à permettre un service facile et commode.

I. — FONDATIONS.

Les puits à foncer, tant pour la fondation des points d'appui isolés que pour l'assiette des murs de pourtour, étaient au nombre de 230.

Dès qu'un certain nombre de ces puits furent descendus jusqu'à la rencontre de la nappe d'eau, on reconnut que le sable ne se présentait pas sous forme de couche horizontale ou peu inclinée, comme deux sondages préalables l'avaient donné à penser. La marne, des terres d'alluvions modernes, contenant des coquilles, des débris ligneux, montraient que la rencontre de l'eau ne coïncidait pas avec le sable, c'est-à-dire avec le bon sol; qu'il fallait aller chercher le solide à un niveau inférieur, ou accroître artificiellement la résistance du sol placé en contre-bas du niveau de l'eau. Dans le premier cas, et pour éviter des épuisements considérables et des blindages plus sérieux que ceux faits jusque-là, il fallait employer des fondations pneumatiques. Dans le second cas, on pouvait, en battant au refus un nombre de pieux suffisant, augmenter la résistance du terrain et parfois même, faire porter le massif de béton sur la roche par l'intermédiaire de ces pieux. Le premier mode donnait une sécurité absolue, mais entraînait une dépense considérable. Le second, permettant d'obtenir un résultat suffisant à condition d'être mis en pratique avec tous les soins voulus, avait l'avantage de nécessiter une dépense bien moindre. C'est ce dernier qui fut adopté. Voici, en résumé, les dispositions qui furent réalisées :

Le diamètre des divers puits avait été fixé en admettant que le sol pourrait supporter à la base une charge de 6 kilog. par centimètre carré. La présence de l'argile et de terrains tourbeux, qui se compriment diversement lorsque la charge augmente et au fur et à mesure de leur décomposition, ne permettait pas de fixer sûrement la charge à imposer au sol. Après divers sondages tubés de $0^{m},165$ de diamètre, exécutés dans le fond des puits et bien fixés sur la nature et l'épaisseur des divers terrains compris entre la couche d'eau et la roche, nous avons admis le 1/3 seulement de la charge de 6 kilog. supposée tout d'a-

bord, soit 2 kilog. et nous en avons déduit par différence la charge à faire supporter par les pieux d'un même puits ; et par conséquent, le nombre de ceux-ci, en admettant par centimètre carré une charge inférieure à 50 kilog. Le calcul fait ressortir comme maximum 42^{t},83 par pieu de 0^{m}30 de diamètre moyen et comme minimum 38^{t},87, ainsi que l'indique le tableau suivant :

NOMBRE ET DIAMÈTRE DES PUITS			Charges totales	Nombre de pieux par puits	Charge par pieu	Nombre de pieux pour tous les puits d'un même diamètre	TOTAUX	
			tonnes		t.			
230	156 intérieurs	8 de 3,^{m}00 de diam.	476	12	39.66	96	1138	1744
		38 de 2,72 »	375	9	41.66	342		
		90 de 2,30 »	257	6	42.83	540		
		20 de 2,54 »	329	8	41.12	160		
	74 pourtour	6 d'angle saillant...	233	6	38.88	36	606	
		2 d'angle rentrant..	372	9	41 33	18		
		12 d'extrémité de travées.	405	10	40.50	120		
		54 intermédiaires...	311	8	38.87	432		

Ces pieux ont été battus avec des sonnettes à vapeur de différents systèmes, mais surtout avec des sonnettes Lacour.

Ces appareils sont munis d'un mouton creux en forme de cylindre. A l'intérieur de ce cylindre se trouve un piston dont la tige prend son point d'appui constant sur la tête du pieu. Lorsqu'on y fait pénétrer la vapeur, celle-ci agit sur le fond supérieur du cylindre mobile et le soulève. Un robinet à 2 voies donne issue à la vapeur lorsque le mouton a été remonté de sa hauteur et celui-ci retombe par son propre poids. La hauteur de chute ne dépasse guère 1^{m} à 1^{m},20 ; mais les coups sont très rapides et l'appareil a une grande puissance. Quand il faut aller très vite, on en obtient de réels services.

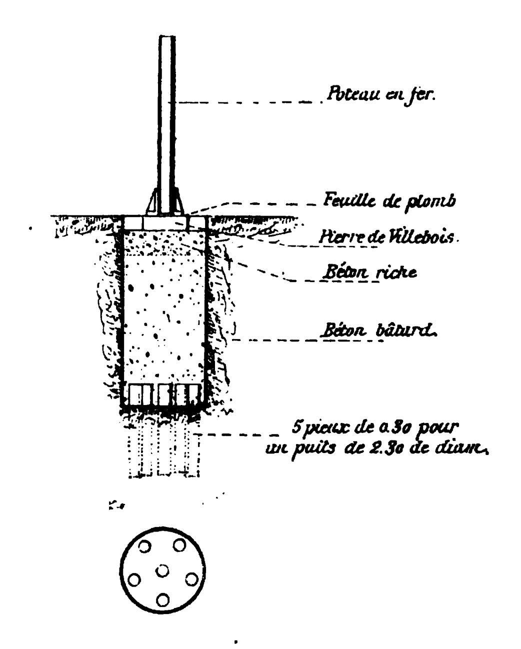
A un certain moment, nous avons eu cinq sonnettes à vapeur fonctionnant à la fois ; mais les sonnettes Lacour l'ont emporté toujours, par la quantité de travail effectué, sur les sonnettes à vapeur ordinaires. Celles-ci, avec une hauteur de chute de 3 à 4 mètres, donnaient sans doute un enfoncement plus correct ; mais si nous n'avions pas eu les premières, nous aurions mis trois ou quatre fois plus de temps pour faire la même besogne.

Il convient de remarquer que ce battage s'effectuait au fond des puits, c'est-à-dire dans des conditions tout à fait anormales. L'opération de la mise en fiche à l'aide du double chariot de la sonnette, et après descente dans le puits des jumelles mobiles en fer à U, qui devaient lui servir de guides, prenait plus de temps que le battage lui-même.

La hauteur de fiche a été en moyenne de $5^m,83$.

La longueur des pieux a varié de 7 à 11 mètres.

Le prix du pieu fourni, mis en place, était évalué par nous à 110 francs et est revenu à 96 francs, permettant de réaliser une économie de 20,000 francs environ sur le montant total de l'entreprise qui s'élevait à 192,000 francs.



Après achèvement du battage, les pieux étaient récépés à $0^m,60$ en contre-haut du fond du puits et celui-ci était de nouveau livré aux puisatiers chargés d'enlever les terres éboulées, de faire le curage et le nettoyage irréprochable des puits, opération délicate et qui, en raison des difficultés rencontrées, nous a coûté fort cher : 25 fr. le mètre cube. Après le curage, on procédait à l'épuisement et enfin au coulage du béton.

Ce béton avait la composition suivante : $\begin{cases} \text{Gravier : } 1^{m3} \\ \text{Mortier : } 0^{m3},500. \end{cases}$

Le mortier lui-même était formé de :

Le mortier lui-même était formé de :	Sable.	1^{m3}
	Chaux hydraulique. .	330^{k}
	Ciment de Portland. .	108^{k}

Les puits étaient remplis de ce béton, sauf les $0^{m},60$ de la partie supérieure, pour lesquels on employait un béton plus riche encore en ciment, composé de gravier et de mortier dans les mêmes proportions, mais le mortier étant constitué comme il suit :

Sable.	1^{m3}
Chaux hydraulique. .	0^{m3} 300
Ciment de Portland. .	475 kilog.

Cette disposition avait pour objet de créer à la partie supérieure une sorte de monolithe capable de répartir la pression sur toute la surface du puits.

Au-dessus de ce béton était une dalle en pierre de Villebois, roche compacte de $0^{m},40$ d'épaisseur et dépassant de $0^{m},05$ la tôle d'embase des poteaux. Cette pierre ne s'écrase que sous une charge de 900 kilog. par centimètre carré. Nous ne l'avons soumise qu'à des pressions de 18 à 78 kilog. par centimètre carré. Sur les 230 employées, pas une seule ne s'est fendue.

C'est enfin sur cette pierre bien dressée qu'était placée la feuille de plomb de 5 millimètres d'épaisseur destinée à recevoir le pied du poteau.

II. — ÉLÉVATION.

La partie de l'édifice au-dessus du sol se compose :

1° Des poteaux ou supports ;

2° Des planchers (poutres, solives et parquet) ;

3° Des murs enveloppes ;

4° Du comble (partie métallique et couverture) ;

5° Des contreventements.

Nous décrirons rapidement le mode de construction de chacune de ces parties et nous donnerons les indications relatives au calcul de leurs dimensions.

1° *Poteaux.* Les poteaux ont en coupe la forme d'un double T (fig. 2), avec une âme de hauteur constante : $0^{m},40$, pleine à la base, en croisillons au sommet ; et des tables décroissantes ayant $0^{m},40$ comme l'âme, mais $0^{m},15$ seulement à la partie supérieure. Les âmes ont sensible-la direction nord-sud et sont dans le plan des poutres, fixées, par conséquent, sur les tables du double T. Il résulte de cette disposition que l'ensemble de la construction présente dans ce sens une grande rigidité.

Les poteaux, comme les autres parties de l'ossature métallique, sont calculés de manière à travailler à moins de 8 kilogrammes par millimètre carré. Ils ont, en outre, été calculés à la flexion au moyen de la formule de Collignon. Apportés sur le chantier, en trois pièces, ils ne forment, après achèvement, qu'un poteau unique rivé sur toute sa hauteur.

Dans le sens est-ouest, les poteaux reçoivent à chaque étage les abouts d'une solive renforcée, quand les contreventements verticaux font défaut.

2° *Planchers.* L'ossature des planchers est formée des poutres et des solives (fig. 3, 4, 5 et 6).

Les poutres en fer à T composé sont toutes à âme pleine. Leur hauteur est généralement supérieure au dixième de la portée.

Elle est au	1er étage de.	$0^{m},80$;
—	2e, 3e, 4e et 5e étages de.	$0^{m},75$;
—	6e étage de.	$0^{m},70$.

Les poutres présentent à leurs extrémités des consoles qui fortifient l'attache sur les poteaux.

Elles sont calculées comme posées sur deux appuis.

Les poutres de la grande travée ($11^{m},20$) seules sont calculées comme demi-encastrées, eu égard à l'importance de leurs consoles de raccordement qui donnent sur le poteau des attaches de 2 mètres de hauteur.

Les solives sont en fer méplat et cornières, à croisillons dans les travées de $7^{m},60$ et à N dans les travées courantes. Leur hauteur varie de $0^{m},40$ à $0^{m},55$. Elles ont été calculées comme posées sur deux appuis, et présentent, malgré leur apparente légèreté, une très grande rigidité. Le travail de main-d'œuvre que ces 11,000 solives ont nécessité a été considérable; mais il a pu être réduit par l'emploi des ma-

chines pour le coupage et le perçage, et a permis au constructeur de réaliser une économie importante sur la somme qu'auraient coûté des solives en fer à T pleines (déduction faite même du supplément de dépense résultant de l'augmentation de hauteur des poteaux qu'elles ont entraîné). Ces solives sont fixées aux poutres par six ou huit boulons et portent sur des équerres d'appui rivées aux poutres (pl. 80).

Sur les solives, des tasseaux en sapin formant lambourdes sont fixés au moyen de vis et, sur ces lambourdes, est cloué le parquet en grisard, par frises de 0m,027 d'épaisseur, La préférence accordée à cette essence de bois, qui résiste au roulage incessant des diables dans les moulins, nous a conduit à l'employer plutôt que le sapin qui se désagrège très facilement dans les mêmes conditions.

3° *Murs enveloppes*. L'enveloppe des magasins consiste : à la base, en un mur de 0m,45 d'épaisseur (pl. 81) en meulière et chaux hydraulique, avec enduits en ciment sur la hauteur du rez-de-chaussée — et au-dessus, en un pan de fer de 0m,12 d'épaisseur en briques creuses, enduit en plâtre aux deux faces, sur la hauteur des 5 étages. La légèreté de cette enveloppe est favorable à la conservation des grains. Son élasticité se prête bien aux mouvements qui pourraient se produire dans la masse du métal par suite des changements de température. Nous croyons que cette disposition l'emporte sur la construction d'un mur auquel il aurait fallu donner une épaisseur considérable (eu égard à sa hauteur de 23 mètres et à l'absence des murs de refend), pour présenter la solidité nécessaire et résister aux mouvements dont nous venons de parler.

Dans les mailles du pan de fer sont ménagées de nombreuses ouvertures dans lesquelles sont coincés les châssis des fenêtres, à ventelles de bois ou de verre, destinées à l'aérage permanent des magasins.

Les quatre grandes portes sont fermées par des rideaux Clarke en tôle d'acier ondulée.

4° *Comble* (*partie métallique*). Le comble est formé de trois nefs : la première règne au-dessus de la grande travée de circulation et des travées qui lui sont contiguës, et s'étend sur toute la longueur des magasins ; la deuxième couvre la partie restante, à droite du premier magasin (côté sud) ; la troisième couvre la partie restante à gauche du deuxième magasin.

La ferme est entièrement métallique (fig.7) ; elle est formée d'arbalétriers en fer en T et à croisillons, soutenus en plusieurs points par le

prolongement des poteaux qui portent les planchers. Des tirants en fer cornière résistent à la poussée, d'ailleurs faible, qui s'exerce au pied de ces arbalétriers. Les poteaux sont entretoisés par des tirants et des croix de Saint-André en cornières, qui assurent, de concert avec les pannes, le parallélisme des fermes entre elles.

(*Couverture*). La raideur de l'ensemble est encore assurée par un hourdis en plâtre qui remplit l'intervalle entre les chevrons en fer à T de 0^{m},08. Ces chevrons soutiennent un lattis en cornières de 0^{m},015, auquel sont accrochées des tuiles. Celles-ci proviennent d'Alkirck. Elles sont du modèle adopté pour la maison de détention de Nanterre.

Les gouttières de pourtour sont en zinc, mais les chéneaux dans les noues sont en fonte, à joints en caoutchouc (système Bigot-Renaux) et donnent toute satisfaction.

Un campanile, avec horloge et cadrans sur trois faces, est placé au-dessus de l'entrée principale. Quatre grands lanterneaux vitrés et munis de persiennes concourent à l'éclairage et à l'aérage.

5° *Contreventements.* Les contreventements établis répondent à des buts divers et sont de deux espèces principales :

A. *Contreventements dans les plans (est-ouest) des files des poteaux.* Ainsi que nous l'avons dit précédemment, on pouvait, eu égard au mode de construction des poteaux, appréhender certains mouvements dans le sens est-ouest, par suite d'une répartition inégale des marchandises dans des travées contiguës. Afin d'obvier à tout déplacement dans cette direction, nous avons établi, dans les plans formés par les lignes parallèles de poteaux et dans la direction est-ouest, des cornières jumelles disposées en manière de croix Saint-André. Ces cornières partent du pied d'un poteau et vont s'attacher, à la hauteur du 1er étage au poteau voisin, puis au 3e étage du poteau suivant et ainsi de suite de deux en deux étages jusqu'au comble. Cette disposition a pour effet de donner une grande rigidité à l'ensemble de la construction. Les pieds et les têtes des poteaux sont de même réunis par deux cours de cornières horizontales, les premières placées sous le sol, les secondes à 2^{m},50 environ au-dessus du dernier plancher. Contre les pans de fer, les cornières sont remplacées par des fers méplats.

B. *Angles et jonction des deux bâtiments.* Il importait d'assurer d'une manière particulière les angles et la jonction des deux bâtiments. Dans ce but, des contreventements en fer méplat ont été placés sous les planchers de chaque étage des travées des six angles saillants et des

deux angles rentrants. Des contreventements verticaux en fer cornière ont été appliqués contre le pan de fer à tous les étages, sur les deux faces qui déterminent chacun de ces angles. Ces croisillonnements supplémentaires ont permis de donner à la construction, sur ces points spéciaux, une raideur que l'absence de maçonneries rendait nécessaire.

III. — Machinerie.

Les divers étages des magasins sont desservis par sept monte-sacs répartis sur la surface totale des magasins et placés au-dessus des grandes voies de circulation du rez-de-chaussée.

L'emploi de la vapeur et de transmissions par arbres ou par courroies n'aurait pas été avantageux. Une grande partie de la force nécessaire pour faire mouvoir un appareil éloigné des moteurs, aurait été dépensée d'une manière stérile, par les organes interposés. De plus, il aurait fallu maintenir des générateurs en feu presque constamment pour être en mesure d'effectuer tous les chargements ou déchargements à faire à des heures indéterminées. L'eau comprimée, à haute ou à basse pression, est exempte de ces inconvénients. Le délai considérable demandé pour l'installation d'appareils comportant l'emploi de l'eau à haute pression, la nécessité d'avoir un moteur toujours en mouvement pour maintenir la pression constante, divers autres inconvénients nous ont conduit à adopter des treuils actionnés par les moteurs du système Mégy, utilisant l'eau à la pression de 19 mètres environ, qui est celle du 6ᵉ étage des magasins. Cette installation a été faite par MM. Sautter, Lemonnier et Cᶦᵉ. La canalisation hydraulique a été dirigée par M. Kern. Les réservoirs ont été fournis par M. Durenne.

L'eau provient d'un puits de 3 mètres de diamètre établi dans la cour d'entrée des magasins, fermé à sa partie supérieure par une voûte hémisphérique et foncé au travers de sables bouillants, à l'aide d'une trousse coupante en tôle. Ce puits, qui a 8 mètres de profondeur environ en contre-bas du terrain naturel, a coûté 20,414 francs.

L'eau est aspirée par deux pompes oscillantes conjuguées de 150 millimètres de diamètre et 200 millimètres de course (fig. 8, 9, 10, 11), actionnées par une machine demi-fixe de 8 chevaux du type Belleville (deux autres pompes et une seconde machine peuvent suppléer les précédentes en cas de réparation). Le rendement de ces appareils est

de 80 pour 100 environ. Le prix de l'eau élevée et emmagasinée à la partie supérieure des magasins, revient à 0 fr. 02 le mètre cube, non compris l'intérêt et l'amortissement des appareils. Une canalisation souterraine la conduit à chacun des sept groupes de moteurs placés au rez-de-chaussée.

Les moteurs du système Mégy (fig. 12, 13, 14) sont des cylindres oscillants de 100 millimètres de diamètre et 130 millimètres de course qui agissent par l'intermédiaire d'un arbre et de deux roues dentées sur l'arbre d'un treuil, formé de deux tambours. Deux câbles s'enroulent en sens inverse sur chacun de ces tambours qui sont entraînés d'un mouvement commun après un réglage préalable à chaque opération, imposé par la hauteur variable de l'étage à laquelle il faut prendre ou livrer les marchandises. La vitesse à la descente est soumise à un régulateur du système Mégy, dans lequel des blocs en fonte, actionnés par la force centrifuge, lorsque la vitesse dépasse un mètre par seconde, donnent naissance à un frottement supplémentaire qui ralentit la marche de l'appareil.

A la partie supérieure au 4e étage, se trouve un pylône qui porte les poulies de renvoi des 2 câbles et la corde de manœuvre.

Les tire-sacs sont établis de manière à pouvoir élever un sac de farine de 160 kilogrammes à la vitesse de 0m,50 par seconde. Le rendement est le 60 pour 100 environ du travail théorique. Et la dépense d'élévation d'un sac de farine à 19m,45 de hauteur est de 0 fr. 0032.

IV. — Dépense.

Le prix de revient des magasins généraux de la Seine s'établit comme suit :

Entreprise générale	Forfait.	1,950,000 fr.
	Travaux complémentaires ou accessoires, non compris dans le forfait.	275,674
Battage de pieux.		178,314
Travaux de terrassements.		150,382
Canalisation souterraine		23,812
Épreuves de l'ossature métallique.		4,751
Inscriptions.		812
	Total.	2,583,745 fr.

Le prix par mètre carré de surface revient à $\frac{2,583,745 \text{ fr.}}{7002^{m2}}$ = 369 francs pour 6 étages et un rez-de-chaussée, non compris les acquisitions de terrain, l'installation hydraulique, les voies, égouts et chaussées, ce qui fait ressortir le prix du mètre carré par étage à $\frac{369}{7} = 52 \text{f}.70$.

Si le terrain n'avait pas exigé des fondations difficiles qui ont nécessité le fonçage de 230 puits, le battage de 1,500 pieux et le remplissage des puits en béton riche en ciment, la dépense aurait été moindre de 300,000 francs et le prix de 369 francs n'aurait été que de 326 francs environ.

MEUNERIE ET BOULANGERIE

PAR M. ARMENGAUD AINÉ

COMPTE RENDU PAR M. AUGUSTE MOREAU.

Notre bibliothèque vient de s'enrichir d'un ouvrage spécial des plus intéressants intitulé *Meunerie et Boulangerie* de M. Armengaud aîné. Ce travail frappe en effet par les hautes considérations qui l'ont dicté, par les nombreux et précieux documents qu'il renferme et par les excellentes conclusions qui le terminent. Les spécialistes trouveront là une étude originale qui leur sera de la plus grande utilité, et tous les ingénieurs seront heureux d'en connaître les grandes lignes que nous allons essayer de leur mettre sous les yeux.

La *Boulangerie* a présenté en effet cet étrange phénomène que le prix de revient de son produit : le pain, s'est accru en même temps que le nombre des fabricants ! C'est le contraire de ce qui se présente d'ordinaire pour toutes les autres industries où les prix baissent forcément en même temps que la concurrence augmente. Il y a donc là une véritable contradiction économique; c'est cette contradiction qui a décidé l'auteur a étudier de près la situation de cette industrie spéciale et à mettre à nu les causes de cette singulière exception.

Le nombre des boulangeries a surtout augmenté depuis 1863, époque à laquelle cette industrie est devenue libre et où l'on a supprimé la taxe sur le pain. Ainsi, au lieu de 907 établissements existant en 1862, on en compte 1400 en 1874 et 1586 en 1880; et comme, la population n'a pas augmenté dans la même proportion, il en résulte que la moyenne des quantités de farine élaborée dans chaque fournil a été notablement réduite. Ainsi de 600 à 640 kilogrammes qu'elle était, elle est tombée à 430 et 450 kilogrammes. M. Armengaud fournit

à ce sujet un tableau complet donnant le nombre des boulangeries existant avant et après 1863 dans les vingt arrondissements de Paris. Il en ressort que le nombre moyen de bouches par établissements a été à Paris de :

en 1680......	470	en 1862......	1838
1851......	1750	1878......	1305.

Et cependant le prix du pain n'a pas cessé d'augmenter tandis que le prix des farines et resté sensiblement stationnaire, relativement au prix du blé, grâce aux perfectionnements apportés dans l'outillage de la meunerie.

En 1878 et 1879 le prix du kilogramme de pain était plus élevé que celui du kilogramme de farine, au lieu de lui être inférieur, et le prélèvement spécial du boulanger était presque le double de celui que le tarif de 1863 lui accordait. Aujourd'hui ce prélèvement est devenu à peu près le *triple* quoique le prix du blé et des farines ait été considérablement baissé.

Lorsque, en effet, le nombre des boulangeries était limité, on admettait que l'allocation qui devait leur être individuellement accordée pour l'élaboration de 100 kilogrammes de farine — produisant au moins 130 kilogrammes de pain du poids réglementaire de 2 kilogrammes — était de 7 kilogrammes, soit de 10 kilogrammes par sacs de 157 kilogrammes.

Ainsi, lorsque la farine première valait 30 francs le quintal, le pain blanc de 2 kilogrammes ne coûtait que 0 fr. 55 ; aujourd'hui avec la liberté du commerce de la boulangerie, le consommateur paye le même pain de 2 kilogrammes 0 fr. 80, c'est-à-dire que le boulanger s'alloue au moins 20 francs par quintal de farine !

Mais ce n'est pas tout : chacun sait que tous les boulangers livrent à la consommation sous le nom de *pain de fantaisie* une plus ou moins grande quantité de pains n'ayant pas le poids normal ; ils réalisent de ce chef des bénéfices considérables. On se rendra compte de ces profits quand on saura que la pâte de ce pain est rigoureusement la même que celle des pains de 2 kilogrammes, et que sur un million de kilogrammes de pain qui se consomment environ par jour à Paris, la *moitié* est considérée comme pain de fantaisie dont le poids ne peut être exigé !

Il existait avant la suppression de la taxe un pain se vendant 0 fr. 07 au-dessous du prix précité, on l'appelait pain de deuxième qualité ou

pain bis, la consommation en était déjà faible et ne dépassait pas 2 pour 100 de la consommation totale : aujourd'hui ce pain a presque complètement disparu, ou du moins il est devenu tellement rare, qu'on ne le rencontre plus que dans quelques quartiers éloignés. Mais bien au contraire, les pains de fantaisie, n'ayant de fantaisiste que le poids, se sont répandus de plus en plus au grand avantage des boulangers.

Même à poids exact, d'ailleurs, le pain présente un élément variable, que les boulangers savent en effet fort bien faire varier et qui est la proportion d'eau. Or, les pains de fantaisie en contiennent moins que le pain ordinaire de 2 kilogrammes. Cet élément est en outre connexe de la proportion de mie, et, pour déterminer les proportions relatives de croûte et de mie, M. Armengaud fit de nombreuses expériences qui sont consignées dans un tableau spécial et qui montrent que le pain ordinaire de 2 kilogrammes de 0^{m}, 70 de longueur, contient de 25 à 26 pour 100 de croûte et 75 à 74 de mie. Ce pain contient généralement de 35 à 36 pour 100 d'eau, et par conséquent avec un quintal de farine de première qualité renfermant 14 à 15 pour 100 d'eau, on obtient en moyenne de 132 à 133 kilogrammes de pain. Le rendement pour les pains de fantaisie est un peu plus faible et la proportion d'eau moins grande comme nous l'avons dit plus haut.

La meunerie n'est d'ailleurs pour rien dans les augmentations successives du prix du pain ; la concurrence a amené un abaissement sensible des prix de mouture malgré l'accroissement des frais généraux, et nos meuniers se voient d'autant plus limités dans leurs bénéfices qu'au lieu d'exporter leurs produits, ils se voient débordés par l'importation des farines étrangères.

C'est encore la boulangerie qui profite seule de cette double concurrence sans en faire bénéficier le consommateur qui, maintenant que la farine de première qualité coûte à peine 30 francs le quintal, paye son pain tout aussi cher que lorsqu'elle revenait à 40 francs.

Le prélèvement actuel de la mouture sur le pain est souvent inférieur à 0 fr. 03 et ne dépasse jamais 0 fr. 04.

Quant aux progrès réalisés dans la meunerie par l'emploi des procédés mécaniques, ils ont eu surtout pour but d'extraire du froment le plus de farine blanche possible afin de satisfaire aux exigences de la boulangerie qui s'est attachée à flatter l'œil, le goût du public, plutôt qu'à lui fournir une substance assimilable et substantielle.

A ce sujet M. Armengaud aîné, a cherché à porter l'attention sur ce

fait : si l'on est arrivé à fournir des farines très fines et très blanches, il n'est nullement certain qu'elles contiennent autant de principes immédiats du blé que les farines obtenues par l'ancien mode de mouture élémentaire, dite *mouture économique*, avec lesquelles les boulangers savaient faire des pains savoureux et nutritifs, riches aussi bien en gluten qu'en matières minérales. Actuellement, on ne se préoccupe pas assez de cette question importante qui intéresse cependant au plus haut degré l'alimentation et la santé publique !

D'après des expériences déjà anciennes et qui, malheureusement, n'ont pas été assez souvent répétées, M. Armengaud aîné est convaincu que l'on abandonne trop de ces principes essentiels dans les produits secondaires, au détriment de la farine première qui est pour ainsi dire seule employée dans les grandes villes.

Il est vrai que parfois, des farines hongroises ont été trouvées plus riches en matières azotées que les nôtres, mais cela tient surtout à ce qu'elles proviennent de blés également plus riches ; car en Autriche et en Hongrie, on traite particulièrement des mélanges de blé tendre et de blé dur, tandis qu'en France, la meunerie ne recherche que le blé blanc qui généralement contient plus d'amidon et moins de gluten. Il n'en est pas moins certain que dans les farines secondaires dont notre boulangerie ne veut pas, on rencontre plus de substances minérales, et surtout d'acide phosphorique et de substances azotées que dans les farines les plus blanches.

Notons à ce propos que M. Armengaud aîné, dans un mémoire lu par M. Henri Tresca de l'Institut, à la Société nationale d'Agriculture, et publié dans le numéro d'avril 1884 du *Meunier* de M. Vigreux, a traité la question fort intéressante de la lutte actuelle des industries françaises et étrangères. Il a fait voir que cette lutte ne porte pas tant sur les nouveaux moyens mécaniques que sur les modes de mouture proprement dits, c'est-à-dire qu'elle existe réellement entre le système de *mouture basse*, mouture rapide par laquelle on retire du premier jet, du premier coup de meule, la plus grande quantité de farine blanche, et le système de *mouture haute*, mouture graduelle que l'on peut d'ailleurs faire aussi bien avec les meules qu'avec les cylindres ou d'autres procédés.

On pourrait encore croire que l'agriculture est une des causes premières du renchérissement du prix du pain parce qu'elle livre à un prix trop élevé ses matières premières. M. Armengaud aîné consacre

un chapitre important à l'étude de cette question et fournit un grand nombre de données très intéressantes sur la culture du blé en France et dans les autres pays, spécialement les États-Unis. Il en résulte au contraire que notre agriculture a toujours eu beaucoup à lutter, à perfectionner ses moyens mécaniques, et que chez elle, comme dans la meunerie, le prix du produit, le blé, tend à se régulariser et à diminuer.

En résumé, l'étude très remarquable et très complète exposée par M. Armengaud aîné, sur le blé, les farines et le pain, démontre que l'agriculture et la meunerie ont fait depuis un demi-siècle, des progrès notables, la première en améliorant la terre pour obtenir de plus forts rendements, la seconde en perfectionnant ses machines pour produire de plus belles farines. La boulangerie au contraire a conservé tous ses anciens errements et s'est toujours systématiquement refusée à introduire dans sa fabrication, les procédés mécaniques lui permettant d'opérer plus économiquement et de tirer surtout un parti plus avantageux, des substances alimentaires qui composent le froment ; la boulangerie en est arrivée ainsi à être, de toutes les industries, celle qui se trouve le plus en arrière au point de vue des procédés économiques ; elle tend de plus en plus à devenir une industrie de fantaisie comme la pâtisserie ; il semble qu'elle n'a plus pour mission de confectionner à un prix abordable pour tous l'aliment de première nécessité. Comme le disait déjà très bien M. Armengaud aîné, il y a plus de trente ans, « lorsqu'on entre dans une boulangerie ordinaire, au moment ou le gindre pétrit la pâte on est frappé de voir à notre époque une opération aussi fatigante être faite par des hommes ; quand depuis nombre d'années presque toutes les branches industrielles ont fait des progrès rapides, on peut être surpris que celle qui travaille aux premiers besoins de l'homme soit restée tellement dans l'enfance !

L'industrie sous toutes ses formes a en effet marché à pas de géants mais la boulangerie ne l'a pas suivie ; on emploie encore aujourd'hui les mains pour pétrir la pâte et les fours les plus primitifs pour cuire le pain.

Et l'émancipation de 1863 n'a apporté absolument aucun remède à cet état de choses qui persiste encore aujourd'hui, alors qu'il serait si facile d'installer dans la plus petite boulangerie un pétrin mécanique et un four perfectionné chauffé non au bois, mais à la houille, ou au coke et même aux combustibles inférieurs.

L'auteur tire de tout ce qui précède cette conclusion, que le seul

moyen d'abaisser le prix du pain est la création de grands établissements dans lesquels la fabrication se ferait sur une vaste échelle, comme dans les manutentions militaires.

En outre il pense qu'il serait fort utile de créer un enseignement professionnel concernant cette branche importante de l'alimentation.

Cette idée, d'ailleurs, s'est propagée, et la chambre syndicale des grains et farines de Paris, sur la proposition de M. Gâtelier, président de la commission qu'elle avait nommée pour suivre des expériences sur les différents procédés de mouture, a demandé récemment à l'administration supérieure la fondation d'une école spéciale qui embrasserait à la fois la meunerie et la boulangerie et rendrait de réels services au pays.

Il nous est impossible, dans une si courte notice, de faire convenablement ressortir tout ce que renferme de précieux et d'intéressant l'excellent ouvrage de M. Armengaud aîné ; c'est un document de plus dans cette collection d'œuvres à grand caractère, devenues presque toutes classiques, et qui de père en fils ont fait la célébrité de la maison.

FRANÇOIS BOURBON

ET LE MARTEAU-PILON

Par M. Gabriel BOUTMY

Les inventions les plus remarquables, sont parfois le résultat de courants d'idées, créés par des besoins nouveaux, naissants sur plusieurs points à la fois et dans le même moment. Aussi, n'est-il pas rare de voir un appareil encore inconnu ou bien un nouveau procédé de fabrication, surgir dans le même temps et de plusieurs côtés à la fois, si bien qu'il est souvent difficile d'établir d'une façon précise, auquel des inventeurs appartient réellement la priorité.

Dans l'industrie des forges et de la construction des machines, l'invention du marteau direct à vapeur fut de ce nombre. Cet instrument, connu en France sous le nom de *Pilon* ou *Marteau-Pilon*, fut inventé presque au même instant en France et en Angleterre, sous l'empire de nécessités industrielles identiques, et l'Angleterre qui en avait déjà revendiqué la priorité, renouvelle aujourd'hui ses prétentions dans un livre récent dont la Revue britannique a dernièrement rendu compte.

Élève des établissements du Creusot, où j'étais dessinateur, lorsque furent construits les premiers pilons, et m'étant trouvé, par ce fait, à même d'en suivre l'étude ainsi que l'exécution, j'ai pensé qu'il m'appartenait de raconter les circonstances diverses de cette intéressante création. J'espère ainsi pouvoir établir par un récit fidèle, que la priorité du marteau-pilon appartient à la France, et que le mérite de l'invention française, revient tout entier à François Bourdon, ancien ingénieur en chef du Creusot, mort en 1865.

I

L'invention du marteau direct à vapeur, remonte à l'année 1840, et fut un événement considérable dans le monde des forges à fer et des ateliers de construction de machines. L'emploi de cet appareil, est aujourd'hui tellement répandu, qu'il est bien inutile d'insister sur ses mérites, aussi me contenterai-je de dire que, sans lui, il eût été impossible de forger les pièces de fer, entrant dans la composition des machines marines de grande puissance, de fabriquer d'une seule pièce les roues en fer forgé des locomotives et des voitures de chemins de fer, de forger les blindages en fer ou en acier qui protègent nos navires de guerre et nos forteresses, ainsi que les canons en acier fondu, dont l'emploi se généralise et dont les dimensions accroissent tous les jours.

Frappés de l'insuffisance des plus gros marteaux de forges en usage vers 1840, pour souder et forger les arbres et les manivelles qui devenaient nécessaires à la construction d'appareils à vapeur atteignant la force de 450 chevaux, plusieurs ingénieurs en France et èn Angleterre eurent en même temps l'idée de suspendre une masse en fer ou en fonte, à la tige du piston d'un cylindre vertical à vapeur, de soulever cette masse, faisant marteau, au moyen de la vapeur introduite sous le piston, et de la laisser retomber sur la pièce à forger, convenablement placée sur une enclume. Ils pensaient se donner ainsi la possibilité de varier dans les limites plus étendues qu'avec les marteaux existants, et le poids du marteau et la hauteur de sa chute.

Parmi ces ingénieurs, deux hommes d'un mérite exceptionnel, MM. James Nasmyth en Angleterre et François Bourdon en France, poursuivirent seuls cette idée, chacun de son côté sans savoir que l'autre y pensât. Tous deux avaient à imaginer le moyen de forger des arbres et des manivelles de machines marines, supérieures à tout ce qui avait été construit jusqu'alors.

Nasmyth fit un simple croquis de son idée sur son livre de projets. Bourdon, alors ingénieur en chef du Creusot, fit un dessin de son marteau à vapeur qu'il exécuta en 1840 et pour lequel MM. Schneider frères, propriétaires du Creusot, prirent un brevet en leur nom, le 30 septembre 1841.

Nasmyth ne connut qu'en 1842 le marteau à vapeur de Bourdon et

ne fit à ce moment aucune réclamation. Ce n'est qu'en 1844, à propos de l'exposition française, à laquelle le Creusot avait envoyé un de ces appareils, qu'il revendiqua, dans le *Moniteur industriel* de l'époque, la priorité exclusive de l'invention. Cette revendication, d'abord favorablement accueillie par le *Moniteur industriel*, donna lieu à une polémique qui se termina par une lettre dans laquelle Bourdon reconnaissait parfaitement que Nasmyth et lui avaient eu la même idée, mais que le marteau exécuté par lui au Creusot, ne présentait aucune des dispositions tracées ou indiquées par Nasmyth[1].

Je croyais le débat clos, mais voici que la question revient dans des mémoires autobiographiques publiés récemment en Angleterre sur des notes de Nasmyth par Samuel Smiles, l'auteur du livre des ingénieurs et dont la Revue Britannique a donné un extrait en décembre 1883.

Dans ces mémoires, l'auteur parlant au nom de Nasmyth, renouvelle les anciennes prétentions de ce dernier, entrant dans des détails qui donneraient à l'œuvre de Bourdon un caractère de plagiat et de contrefaçon qui m'importe, plus qu'à tout autre, de repousser pour l'honneur de cet homme de bien qui fut mon maître, et sous les ordres duquel j'ai travaillé, sans interruption de 1837 à 1849. Il me suffira du reste pour cela, de faire simplement l'historique du marteau français et de raconter les faits, s'y rattachant, qui se sont passés sous mes yeux.

Le croquis de marteau à vapeur dont Nasmyth parle dans ses mémoires, et dont il donne un fac-similé porte la date du 24 novembre 1839. Ce croquis, dit Nasmyth, fut communiqué à MM. Humphries-Brunel et Guppy et à quelques autres ingénieurs compétents qui tous l'approuvèrent. Mais la machine marine, en vue de laquelle l'ingénieur anglais avait fixé son idée sur le papier, ne fut pas exécutée et l'invention resta à l'état de croquis. Or, ce croquis fut montré chez Nasmyth, en juillet 1840, à MM. Eugène Schneider et Bourdon dans des circonstances que je raconterai plus loin. Bourdon, d'après Nasmyth qui était absent ce jour-là, aurait pris des notes minutieuses, voire même une copie du plan et des détails de son marteau, et c'est sur cette communication que Nasmyth base toutes ses revendications.

Ce récit n'infirme en rien, les droits de priorité de Bourdon à l'invention du marteau direct à vapeur, ainsi que je vais le prouver, sans même qu'il soit nécessaire de chercher comment l'ingénieur français

1. *Moniteur industriel* des 9, 12, 30 mai, 2 et 6 juin 1844.

aurait pu prendre des notes minutieuses, un plan et des détails de construction, sur un simple croquis qui n'en donnait aucun.

C'est aussi en 1839, que Bourdon, sous l'empire des mêmes besoins industriels que Nasmyth, eut l'idée d'un marteau direct à vapeur, auquel il donnait dans nos conversations journalières, le nom de pilon que l'appareil a conservé en France. Il en fit non pas un simple croquis incomplet comme Nasmyth, mais bien un projet détaillé, que je lui ai vu dessiner sous mes yeux, et qui fut montré alors à tous les ingénieurs qui venaient journellement au Creusot, entre autres MM. Mimerel, Bertrand et Paulin, tous trois ingénieurs de la marine chargés du contrôle de la construction des machines marines qu'on y construisait pour l'État.

A ce moment, c'est-à-dire en 1839, l'idée de cet appareil semblait tellement hardie que MM Schneider hésitèrent longtemps à l'exécuter. Alors vers le milieu de 1840, M. Eugène Schneider et M. Bourdon partirent pour l'Angleterre, afin de s'y renseigner sur les meilleurs marteaux de forge qu'on y employait.

C'est à cette occasion que Nasmyth reçut d'eux la visite dont il parle dans ses mémoires. En son absence, ces messieurs furent accueillis par M. Gaskell, son associé, qui leur montra effectivement le croquis de Nasmyth. Ce croquis *de dispositions encore incomplètes*, ne répondant pas aux idées de Bourdon, ce dernier fit ses objections, parla du projet de marteau qu'il avait dessiné en France et traça au crayon comment il avait entendu de son côté le nouvel appareil.

Ce fait de voir la même idée surgir à la fois chez deux hommes d'un mérite éminent, tels que Nasmyth et Bourdon, frappa beaucoup M. Schneider; aussi le racontait-il à son frère dans une lettre écrite au sortir de chez Nasmyth, et que j'ai lue au Creusot. « Dès notre rentrée disait-il dans cette lettre, il faudra mettre le marteau de M. Bourdon en exécution. »

Le pilon fut alors construit sur le projet de 1839, et il fonctionnait utilement depuis 15 mois, lorsqu'au mois d'avril 1842, Nasmyth revenant d'un voyage en Italie, passa au Creusot pour y offrir ses machines-outils. J'étais présent lors de sa visite à Bourdon. Il nous montra un album de ses diverses machines à percer, à raboter etc., et l'on se mit à parler outillage. Dans la conversation Bourdon lui demanda s'il avait donné suite à son idée de marteau à vapeur. Nasmyth répondit évasivement que l'appareil était à l'étude, et qu'il comptait l'exécuter prochainement. Alors Bourdon ouvrant le tiroir de sa table à dessiner,

en tira son dessin de pilon, demandant à son interlocuteur ce qu'il pensait de ce dispositif. Nasmyth examina longuement le dessin et ne fit qu'une seule objection. Vous-avez mis, dit-il, entre la tige du piston à vapeur et la masse faisant marteau, un emmanchement ridige à clavette qui ne tiendra pas, moi, je voudrais là un assemblage élastique qui amortirait les chocs et en diminuerait les réactions. Bourdon raconta alors qu'effectivement le clavetage tracé sur le dessin qu'il montrait n'avait pas résisté, mais que ce clavetage avait été remplacé par un autre mieux combiné, qui semblait devoir donner de meilleurs résultats, il raconta en outre les différentes difficultés de détail qu'il avait rencontrées au début de la marche de son appareil, puis il engagea Nasmyth à venir voir marcher le pilon et nous descendîmes à l'atelier où nous le trouvâmes qui fonctionnait.

A cette vue Nasmyth resta un instant immobile, puis s'approchant de Bourdon il lui dit une phrase que je n'ai pas entendue dans le bruit de la forge, mais que Bourdon nous traduisit ainsi : *je suis enchanté de voir devant mes yeux ce que j'ai depuis si longtemps dans la tête.*

Tels sont les faits auxquels j'ai assisté et que je tenais à préciser par respect pour la mémoire de mon vénéré maître.

En résumé, deux ingénieurs de grand mérite étrangers l'un à l'autre, ont eu au même instant, chacun dans son pays et dans l'entraînement d'un même courant industriel, une idée identique ; l'un Nasmyth en fait un simple croquis et s'en tient là ; l'autre, Bourdon, en trace un projet qu'il exécute, apprenant que son confrère a eu la même idée. Ce n'est qu'après avoir vu fonctionner l'appareil du second que le premier des deux ingénieurs revient à son croquis et en entame l'exécution. Lequel des deux aura le plus emprunté à l'autre ?

Le croquis montré par Gaskel à Bourdon chez Nasmyth, n'á rien changé, *je l'affirme*, au projet étudié par Bourdon, avant son voyage en Angleterre, tandis qu'on peut certainement admettre, que la vue du pilon fonctionnant au Creusot et les confidences de Bourdon sur les difficultés de détails à la mise en train de l'appareil, ont bien dù fixer chez Nasmyth, *l'idée qu'il avait depuis si longtemps dans la tête.*

Il est juste de dire cependant que, si le croquis de Nasmyth n'a rien changé au projet de Bourdon, il a été la cause déterminante de l'exécution de ce projet, en faisant cesser les hésitations de MM. Schneider. Cette circonstance aurait pu prêter à la critique contre M. E. Schneider et Bourdon, si ces messieurs dans leur visite, chez Nasmyth, s'étaient

contentés de regarder le croquis que Gaskel leur montrait, sans dire qu'eux aussi avaient la même idée, et Nasmyth a bien essayé de présenter la chose ainsi, dans ses lettres de 1844. Mais loin de là, il résulte d'une lettre de M. Schneider, publiée dans le *Moniteur industriel* du 2 juin 1844 que Bourdon n'a pas laissé ignorer à Gaskell l'étude qu'il avait faite d'un marteau à vapeur lui indiquant même au crayon *comment il avait entendu le nouvel appareil en question*. Leur conduite a donc été correcte en tous points, et si le pilon Bourdon a précédé de plus de deux ans le marteau à vapeur de Nasmyth, nous devons cet honneur à MM. Schneider, dont la haute sagacité a su prévoir l'avenir de cet admirable instrument, et prendre l'avance sur le constructeur anglais.

Nasmyth dit bien dans ses mémoires que, demandant lors de sa visite au Creusot en 1842, comment on avait forgé les grands arbres de machines qu'il y voyait, Bourdon lui avait répondu que c'était avec *son* marteau à vapeur, *son propre enfant*. Je ne doute pas que cette phrase ait été dite, elle est trop dans le caractère aimable de Bourdon, si bienveillant et si modeste, qu'il attribuait toujours ses propres mérites aux autres. Déjà, en 1844, Nasmyth avait rappelé ce dire, adjurant Bourdon de convenir que le succès de son pilon était dû à la connaissance du croquis montré par Gaskell et aux conseils que lui, Nasmyth, lui avait personnellement donnés. Il rappelait notamment ceux relatifs à l'emploi entre la tige du piston et le marteau, de l'assemblage élastique dont je parle plus haut, assemblage que Bourdon n'a pas cru devoir appliquer. Bourdon avait répondu par une lettre, datée du 2 juin 1844, dans laquelle nous lisons les passages suivants : « J'ai su qu'ils (MM. Nasmyth et Gaskell) cherchaient à réaliser l'idée d'un marteau à vapeur, dont les dispositions encore incomplètes différaient essentiellement du projet que j'ai fait exécuter comme je l'avais conçu... Je lui ai présenté cet instrument non comme son marteau, mais comme la réalisation d'une idée qu'il avait eue comme moi... »

Je crois avoir prouvé par ce qui précède, que le pilon de Bourdon fut bien son invention. Je regrette qu'au lieu de le reconnaître franchement dans ses mémoires, Nasmyth ait laissé imprimer par son historiographe des développements imaginaires, blessants pour la mémoire de son confrère français, et qui, malgré leur forme bienveillante, tendent à insinuer que ce dernier n'aurait fait que mettre à profit les renseignements fournis par le héros du livre.

Pour ma part, je laisse à Nasmyth le mérite entier de son appareil, et je ne doute pas qu'il l'aurait fait réussir en Angleterre, sans même l'avoir vu préalablement fonctionner au Creusot. C'est cette conviction que nous partagions, M. Flachat et moi, qui nous a fait écrire dans la notice nécrologique, publiée par nous en 1865, sur François Bourdon, que le brevet de Nasmyth fut aussi légitime en Angleterre, que celui du Creusot le fut en France. Nous respections en France la gloire de Nasmyth, comme nous aurions compris qu'on respectât en Angleterre la gloire de Bourdon, notre regretté compatriote.

II

Le premier marteau-pilon construit au Creusot vers la fin de 1840, sur les plans de Bourdon, était du poids de 2,500 kilogrammes avec 2 mètres de levée. L'appareil se composait de quatre montants plats à nervures et en fonte reliés entre eux par des entretoises en fonte boulonnées et surmontés d'une plaque formant entablement, sur lequel reposait le cylindre à vapeur. Le marteau coulissait entre ces quatre montants, qui étaient étayés par quatre jambes de force également en fonte et inclinées, partant chacune de l'un des angles de l'entablement.

Tout cet ensemble était encombrant et l'accès de l'enclume placée au centre des quatre montants était peu facile, aussi enleva-t-on, dès le début, les deux jambes de force du côté d'approche de la grue desservant l'appareil, et le pilon fut alors conforme au dessin que je donne (pl. 81 *bis*, fig. 1), dessin qui n'est autre du reste qu'une reproduction de celui joint à la demande de brevet de 1841, que j'ai été chargé de tracer sous la direction de Bourdon, et dont j'avais gardé un calque pour mon portefeuille.

En cet état, l'un des montants de devant venant à casser, Bourdon les supprima tous les deux, remplaça l'entablement par une forte console en fonte boulonnée sur les deux montants restant et qui portait du même morceau deux règles entre lesquelles coulissait le marteau. Par ces changements le marteau-pilon prit la forme du dessin que j'en donne (fig. 1 *bis*).

Par la même occasion, Bourdon supprima de même, comme étant reconnues inutiles les trois cames, figurant sur le dessin du brevet et qui, agissant automatiquement sur la tige de manœuvre du tiroir, devaient en cas de maladresse du machiniste, aider à régler la vitesse,

ainsi que la hauteur de chute du marteau. Bourdon avait, en réalité, placé ces trois cames, uniquement pour rassurer les timides qui croyaient difficile d'arrêter l'ascension du pilon sous la pression de la vapeur. Il s'était réservé d'en retirer d'abord une, puis deux, ou bien même de les supprimer toutes trois quand leur inutilité serait constatée. C'est ce dernier parti qu'il prit presque au début de la marche de l'appareil.

La mise en service régulier du pilon, même simplifié comme ci-dessus, ne se fit pas sans difficultés. Construit du premier jet dans l'origine, plutôt comme une machine-outil, dont les efforts sont constants et relativement modérés, que comme un appareil de grosse forge, appelé à produire des chocs d'une intensité dont on n'avait pas d'exemples jusqu'alors, l'ensemble se trouva composé de pièces trop faibles. L'assemblage par brides et boulons des différentes parties de la charpente se disloqua promptement ; il y eut des avaries fréquentes qui découragèrent à un tel point, qu'il fut question un moment d'abandonner la machine. Mais Bourdon fit à chaque nouvel accident de tels prodiges de génie et d'activité pour renforcer son instrument et pour le reconstruire tout en le réparant, qu'il arriva à triompher des difficultés et que son pilon fonctionnait régulièrement, lorsqu'en 1842 il le montra à Nasmyth, à qui il raconta, comme je l'ai dit, tous ses mécomptes.

Vers le même temps, le Creusot construisit pour les ateliers de Rochefort, Guérigny et Fourchambault, des pilons de 2,500 kilogrammes et 2 mètres de levée, dans lesquels Bourdon introduisit toutes les améliorations que lui avait suggérées l'emploi de l'appareil. En même temps il en fit un sur le même modèle, qu'il monta sur les fondations de son pilon primitif reconstruit qui avait encore subi de sérieuses avaries.

Dans ces nouveaux pilons (fig. 2), la charpente se compose de deux forts montants en fonte, reliés par la partie supérieure au moyen d'un entablement très solide et d'assemblages en queue d'aronde, pareils à ceux employés communément dans les forges. Le marteau coulisse entre les deux montants, le clavetage de la tige du piston dans le marteau se fait par un emmanchement cylindrique ajusté et serré à bloc au moyen d'une forte clavette en acier. Enfin le piston à vapeur primitif qui était en fonte et rapporté sur sa tige (fig. 8), est remplacé par un piston en fer forgé plus léger et venu de forge avec sa tige (fig. 9). Ce perfectionnement est une conséquence de l'emploi du pilon qui seul

pouvait permettre l'exécution pratique d'un piston faisant corps avec sa tige. L'appareil ainsi modifié fournit un service d'une régularité tout à fait satisfaisante.

Toutefois, le second clavetage que je viens de décrire laissait encore beaucoup à désirer, bien qu'il fût infiniment préférable à celui du pilon primitif que Nasmyth avait judicieusement critiqué. La clavette était souvent à changer. Chacun cherchait un remède à cet inconvénient, lorsque le contremaître Poidevin, qui dirigeait les pilons de la grosse forge du Creusot, proposa de mettre à plat sous la tige, la clavette qui jusqu'alors avait travaillé de champ, et de serrer cette tige, terminée en tronc de cône, entre deux demi-coquilles coniques en acier, la pressant dans le logement ménagé pour elle sur le marteau, conformément au dessin (fig. 6). Bourdon accueillant avec enthousiasme l'idée de son subordonné, en fit immédiatement l'application et les accidents de clavetage disparurent absolument, sans qu'on ait dû abandonner l'assemblage rigide par clavette, qu'avait condamné Nasmyth. Du reste, Bourdon eut raison de ne pas renoncer à ce système, car le clavetage élastique de Nasmyth, dans lequel, d'après les termes de son brevet de 1842 il entrait à volonté de la laine, du bois ou du cuir, a dû être abandonné. Aujourd'hui le clavetage des pilons anglais à Patricroft, dans les ateliers de Nasmyth même, se fait au moyen de deux clavettes rigides, serrant l'extrémité de la tige du piston, renflée en champignon (fig. 7), sur une rondelle de bois de 40 millimètres d'épaisseur, qui n'offre aucune élasticité et ne peut avoir d'autre effet que de corriger les défauts d'ajustage du système.

Jusqu'alors le pilon avait servi exclusivement à la fabrication des grosses pièces de forge, telles que les arbres droits ou coudés, les grosses manivelles et les grandes bielles de machines. Mais l'expérience que Bourdon avait acquise du maniement de son nouvel engin, lui avait montré tout le parti qu'on pouvait en tirer, pour la forgerie en général et particulièrement pour la fabrication à l'étampe des pièces mécaniques de toute forme et de toutes dimensions. Aussi se mit-il à dessiner un nouveau pilon spécialement approprié à ce genre de travail et pesant 1,800 kilogrammes avec 1^m,600 de levée (fig. 3).

Dans le marteau primitif et dans ceux de Rochefort, Guérigny, etc., la chabotte et l'enclume étaient indépendantes des montants et de la superstructure de l'instrument. Cette disposition convenable pour des appareils de grandes dimensions, exigeait des fondations étendues et

très dispendieuses, pour que toutes les parties de la machine conservassent toujours le même aplomb.

Dans le troisième pilon de Bourdon, les montants sont assemblés en queue d'aronde dans la chabotte, et il suffit, pour toute fondation, de placer cet ensemble sur un bloc de bois formé de pièces en grillage, réunies par des boulons et posées sur un lit de béton. De plus, la partie supérieure des montants, entre les coulisses et l'entablement est allongée de façon à pouvoir livrer passage au marteau qu'on descend entre ses coulisses, ce qui permet de faire celles-ci sans joue rapportée, et de supprimer ainsi les derniers boulons existants dans la charpente de l'appareil.

Sous cette nouvelle forme, le pilon devient un instrument de petites forges à main et son emploi généralise le forgeage à l'étampe, qui permet de fabriquer en fer forgé des pièces à formes compliquées qu'on ne pouvait jusqu'alors faire économiquement qu'en fonte. D'un autre côté, il remplace avantageusement dans les forges à fer le marteau à queue ou la presse, qu'on employait au cinglage des boules de puddlage.

Dans le même ordre d'idées, Bourdon trace encore un autre type de pilon, auquel il ne donne que 1,000 kilogrammes de poids et 1 mètre de levée, destiné aux petits travaux de forge. Les dimensions restreintes de l'appareil lui permettent de couler en une seule pièce de fonte la chabotte, les montants et l'entablement (fig. 4). Cet outil sert à la fabrication des écrous, boulons, charnières et menues ferrures de wagons, qui n'exigent pas de plus fort marteau. C'est la limite inférieure à laquelle Bourdon estimait que dût descendre le pilon, appliqué à la construction des machines. Au-dessous de 1,000 kilogrammes, disait-il familièrement, il ne donne plus que des coups de bonnet de coton.

Les pilons à montants reliés avec la chabotte, donnent d'excellents résultats, et permettent d'installer l'appareil même sur un mauvais sol, Bourdon applique ce mode de construction à des marteaux de 3,000 à 5,000 kilos avec 2 mètres à 2^{m},700 de levée (fig. 5).

Dans ces appareils, il bifurque; la partie inférieure des montants s'engageant dans la chabotte. Il augmente ainsi la stabilité de l'ensemble, et facilite sur l'enclume l'accès par quatre côtés des ringards, des étampes ou de la tranche à couper, qui servent à la manœuvre ou au travail des pièces sous le pilon.

Ainsi qu'on peut voir par tout ce qui précède, les modifications suc-

cessives apportées par Bourdon à son instrument primitif, n'ont été que des simplifications ou des consolidations de son premier projet. La distribution de vapeur au cylindre et la manœuvre du marteau n'ont pas varié. Il fut cependant question un moment du mouvement automatique (*self acting motion*), appliqué comme un perfectionnement par Nasmyth, dans les premiers pilons qu'il construisit en Angleterre. Il y eut même à ce sujet vers 1844 des pourparlers engagés par Nasmyth, qui proposait une association avec le Creusot, pour l'exploitation de son brevet joint à celui de MM. Schneider; mais c'était une addition qui faisait rentrer le pilon dans la classe des machines-outils, compliquées de mécanique, et qu'il n'eût fallu aborder que si elle eût présenté de sérieux avantages. Or Bourdon avait à cet égard des idées bien nettes. Le pilon, disait-il, pour le genre de travaux auquel nous le destinons, est un instrument avec lequel il est rare qu'on ait à donner plus de quelques coups de puissance et de hauteur égales. Le mouvement *self acting* demande à être réglé différemment pour chaque hauteur différente de chute du marteau. Il faudrait un homme en permanence pour le faire varier, autant supprimer la complication que ce mouvement entraîne, et faire conduire directement le marteau à la main, comme nous l'avons fait jusqu'ici. Cette manière de voir prévalut, et les ouvertures de Nasmyth restèrent sans suite. Bourdon raisonnait juste en cela comme pour le reste, car l'inutilité du mouvement *self acting* fut bientôt reconnue. Nasmyth lui-même, dans ses mémoires, cite à ce sujet un rapport sur l'exposition de Vienne 1873, dans lequel on lui fait un mérite d'avoir mis de côté cet *ancien* mode de conduite du marteau à vapeur, pour le remplacer par le mouvement à la main (*Hand-Gear*). Après ce qu'on vient de lire, cette citation est au moins plaisante, et le mérite de Bourdon d'avoir préféré ce dernier système, n'en ressort que plus éclatant.

Me voici arrivé à la fin des débuts du marteau-pilon. Dans cette période qui embrasse les quatre premières années d'existence de l'appareil. Toutes les difficultés de la mise en service ont été vaincues sans rien modifier au principe de l'instrument. A partir de ce moment le brevet Schneider qui n'avait que cinq ans de durée va expirer. Le pilon a conquis sa place dans toutes les forges de notre pays et son usage s'en répand chaque jour, dans toutes les industries qui se sont crées en vue de l'exécution du matériel des chemins de fer. Il s'en construit partout, appliqués à des emplois spéciaux, pour lesquels on

change sa forme, sa structure et son poids, suivant les cas. Le Creusot livre à l'industrie privée et à la marine nationale, un grand nombre de pilons qui atteignent jusqu'à 20,000 kilog. et au delà. Il en construit pour lui-même, qui augmentent de poids et de puissance à chaque nouvel appareil, à mesure que les produits à forger l'exigent. Ce merveilleux instrument suit ainsi une progression toujours croissante, pour aboutir enfin au gigantesque pilon de 100,000 kil. que nous avons admiré à l'exposition de 1878. Celui-ci fut la dernière œuvre ordonnée par M. Schneider, ce grand industriel qui avait si bien secondé le génie de Bourdon, et su faire du Creusot le plus bel établissement métallurgique du monde entier.

III

François Bourdon et Nasmyth ne se sont pas rencontrés seulement sur l'idée du marteau direct à vapeur employé au travail des forges. L'un et l'autre ont encore pensé à appliquer ce marteau au battage des pieux.

En feuilletant les mémoires du dernier j'ai trouvé le dessin d'une sonnette à vapeur qu'il a exécutée en 1845 pour les constructeurs des Docks de Devonport. J'avais dans mes croquis de la même *année* celui d'une sonnette pareille que j'avais relevé sur un dessin fait par Bourdon à la demande de l'un de ses beaux-frères, M. Albert Pognon, ingénieur des ponts et chaussées à Clermont-Ferrand. Ce projet dont je donne un croquis est resté sans suite. Je ne le cite ici que pour faire voir combien le génie mécanique de ces deux ingénieurs avait d'analogies. Le dessin de Bourdon n'était qu'un avant-projet mais les détails en sont suffisamment clairs et précis pour montrer que mon maître avait compris l'appareil exactement comme l'a compris Nasmyth d'après le tracé que renferme son livre. Le mouton et son cylindre à vapeur coiffent également le pieu à battre. L'un et l'autre descendent avec lui dans les deux dessins. La vapeur fournie par une chaudière tubulaire portée par la sonnette arrive au cylindre du mouton au moyen de tubes métalliques à joints articulés; une petite machine à vapeur fixée dans la charpente de l'appareil sert à relever le mouton et son cylindre une fois la pièce battue. La seule différence entre les deux tracés c'est que Nasmyth utilise cette petite machine pour faire changer de place la sonnette, qu'il monte sur quatre roues, tandis que

Bourdon n'a rien indiqué qui prévoie le déplacement de l'instrument. Il est probable qu'à l'étude définitive Bourdon continuant l'analogie aurait aussi employé la machine qu'il avait à sa disposition, pour déplacer sa sonnette.

IV

En 1850 les pilons s'étant multipliés dans les ateliers du Creusot et leur emploi entraînant une forte dépense de vapeur, Bourdon eut l'idée de substituer à cette vapeur l'usage du vide pour lever le marteau. J'ai reçu de lui à cette époque, une note et un croquis de pilon atmosphérique, que je donne ici tels qu'ils m'ont été adressés pour montrer toutes les ressources de cet esprit ingénieux. Ce projet n'eut aucune suite faute d'une occasion favorable, le temps où l'on a senti la nécessité d'économiser le combustible dans les forges n'étant pas encore arrivé.

PILON ATMOSPHÉRIQUE

9 mars 1850.

A l'occasion de l'étude d'un projet de forge pour l'Espagne, j'ai pensé à une modification du marteau-pilon qui en étendra l'usage jusqu'aux usines hydrauliques. Il s'agit de substituer l'action du vide pour lever le marteau à celle de la vapeur. Le croquis joint à cette note en indique les dispositions principales qui sont, d'abord un bâti semblable à celui des marteaux à vapeur, un cylindre d'un diamètre double de ceux en usage, fermé par le haut et mis en communication par un tiroir avec une capacité dans laquelle on produit le vide avec deux pompes pneumatiques, qui reçoivent leur mouvement d'un moteur quelconque, et ensuite avec l'atmosphère pour laisser retomber le marteau.

Quoique l'emploi de l'air atmosphérique comme intermédiaire entre la force motrice et le marteau, soit une cause de pertes assez considérables, il est douteux cependant qu'elles soient plus grandes que le gaspillage de vapeur dans les marteaux-pilons. Ainsi il n'y aurait rien d'étonnant qu'on trouvât de l'économie en employant une bonne petite machine à détente et condensation, pour faire le vide dans le réservoir, plutôt que d'employer directement cette vapeur sous un marteau-pilon. Dans tous les cas, le marteau atmosphérique sera substitué avec grand avantage aux marteaux comtois mus directement par une roue

hydraulique qui souvent ne rend pas 15°/₀ de la puissance de la chute.

Les avantages pratiques de ce marteau paraissent être les suivants :

1° Piston garni en cuir d'une très grande durée ;

2° Accès constant au piston et au tiroir pour s'assurer de leur bon effet ;

3° Absence d'eau condensée ou fuites de vapeur sur le bâti.

V

Devenu en 1852, ingénieur en chef des ateliers des forges et chantiers à Marseille, Bourdon y fit bien des créations sortant du cadre du présent travail et dont j'ai eu occasion de parler en 1865. Parmi ses inventions les plus originales de ce temps, je retiens seulement son marteau hydraulique de 120,000 kilos qui semble être le fruit de sa préoccupation d'autrefois au sujet *du gaspillage* de vapeur dans les pilons ordinaires. En même temps, qu'ayant à sa disposition de l'eau sous forte pression, Bourdon trouvait dans cet agent le moyen de faire un instrument d'une grande puissance sous un volume relativement très restreint.

Je dois à l'obligeance des administrateurs des forges et chantiers un dessin et une note concernant cet appareil. Je ne puis faire mieux que de les transcrire ici. On y verra que, dans l'opinion de ses collaborateurs de Marseille, le pilon hydraulique de Bourdon a été le point de départ des *outils* hydrauliques sous pression qui jouent aujourd'hui un rôle si important dans beaucoup d'industries.

DOCUMENTS RELATIFS A L'ÉTUDE ET A L'EXÉCUTION D'UN MARTEAU HYDRAULIQUE A FORGER, ET D'UNE MACHINE A VAPEUR A FAIRE DES RIVETS M. (BOURDON).

Le premier marteau-presse ou pilon hydraulique a été construit à Arenc en 1862 sur les plans de M. Bourdon.

Ci-joint une reproduction héliographique d'un calque du plan accompagnant la demande de brevet.

L'ancienne presse est encore en exercice à Menpenti et diffère très peu comme disposition du plan joint à la présente note :

Mais on n'emploie pas cette presse au travail pour lequel elle avait été conçue à l'origine.

M. Bourdon comptait la mettre en usage principalement pour « cingler » le fer. Mais la percussion et le coup sec du pilon ordinaire sont préférables à la pression lente et uniforme pour chasser le laitier contenu dans les paquets. Par contre, quand il s'agit d'emboutir et de matricer, le marteau-presse est un engin sans rival.

Nos ateliers l'ont employé depuis sa construction avec le succès le plus complet, et il rend encore journellement de très grands services.

Depuis l'époque où M. Bourdon, prévoyant tout le parti qu'on pourrait tirer de l'application aux travaux de chaudronnerie de l'eau sous pression, avait créé de toutes pièces cet engin dont il est bien réellement l'inventeur, les outils analogues se sont généralisés sur une très grande échelle. La presse Tweddell, qui est très répandue, n'est, à proprement parler, qu'un dérivé de la presse Bourdon.

(Du reste, M. Bourdon avait, vers la même époque, commencé à étudier des poinçons et cisailles mus par l'eau comprimée : on sait que ce système a été l'objet de larges applications).

VI

Dans le temps qu'il construisait ses premiers marteaux-pilons, Bourdon créa deux appareils remarquables s'y rattachant par leur forme et par l'emploi direct de la vapeur sans autre intermédiaire que la tige du piston entre l'action de celle-ci et le travail à produire. Ces deux appareils me sont remis en mémoire par l'un de ses élèves, mon vieux camarade Joseph Marland membre de la société des ingénieurs civils, à qui je dois déjà plusieurs des croquis qui figurent dans le présent travail et qui m'envoie les croquis des deux appareils en question tirés de ses notes personnelles.

Le premier de ces deux appareils, est une machine d'épuisement ou d'irrigation, étudiée dans l'origine en vue d'une dérivation de la haute Seine et qui a été exécuté plus tard vers 1849, pour irrigations en Égypte.

Le croquis que j'en donne, est suffisant pour qu'on y reconnaisse une machine à simple effet, à contrepoids et à cataracte, semblable aux machines du Cornwal de l'époque, avec cette différence que le plongeur est placé directoment sur la tige du piston à vapeur au lieu d'être actionné par l'intermédiaire d'un balancier comme on l'avait fait jusqu'alors dans les mines en Angleterre, en Belgique et en France.

L'étude de Bourdon remonte, autant que mes souvenirs me le disent, à l'année 1846. Elle était en avance d'une dizaine d'années sur les machines pareilles que j'ai vues plus tard dans les houillères du pays de Liège et que construisaient les ateliers de Seraing et St-Léonard.

Le second appareil du type des pilons imaginés par Bourdon, est un monte-charge à vapeur, construit en 1850, pour mettre en communication le gueulard des hauts fourneaux du Creusot avec le sol des halles sous lesquelles se préparaient les charges de minerais et de combustibles.

L'appareil se compose d'un cylindre à vapeur vertical de 4 mètres de course coulé en deux longueurs et placé sur un bâtis semblable à celui des pilons de forge. Un plateau monte-charge est fixé sur la tige du piston à vapeur au lieu et place du marteau. Cette machine qui remplaça avantageusement les balances à eau employées jusqu'alors au même usage, a fonctionné au Creusot avec une extrême régularité pendant de longues années. Peut-être même est-elle encore en service. C'est à mon avis une application heureuse et bien simple de l'emploi direct de la vapeur dans certains cas déterminés, tels que celui des hauts fourneaux du Creusot.

J'ai terminé le récit de la portion des travaux de Bourdon qui se rattache à l'invention du marteau-pilon, dont on a essayé de lui disputer la gloire, et j'ai cherché en racontant simplement les faits à ne diminuer en rien le mérite de son compétiteur. En agissant ainsi je me suis inspiré de l'esprit bienveillant de cet excellent homme. Du reste j'en ai dit assez pour bien dégager l'œuvre de mon maître des reproches de plagiat qu'on lui avait adressés et conserver à notre pays l'honneur de l'invention du marteau-pilon. Je me suis sans doute complu à multiplier les preuves que j'ai données de la priorité française, mais c'était évoquer les souvenirs des années que j'ai passées au Creusot, et j'y trouvais l'occasion de parler de ceux qui m'ont guidé à cette époque. Ces souvenirs me conduisent tout naturellement, en achevant mon travail, à confondre dans le même sentiment d'affectueuse reconnaissance, François Bourdon, mon vénéré maître, et MM. Schneider qui se firent les soutiens de mes débuts dans la carrière d'ingénieur.

Paris, 25 juillet 1884.

CHRONIQUE

Sommaire. — Utilisation des chutes du Niagara. — Cheminées d'usines. — Fonçage des puits par le froid. — Anciennes appréciations sur l'avenir des chemins de fer. — Adhérence des locomotives. — Chemins de fer à voie étroite aux États-Unis.

Utilisation des chutes du Niagara. — A la réunion à Buffalo de l'*American Society of Civil Engineers*, M. B. Rhodes, de Niagara, a fait une communication sur la possibilité de recueillir le travail représenté par les chutes du Niagara, de le transformer en énergie électrique et de l'envoyer à distance.

L'auteur évalue le débit à 7,700 mètres cubes par seconde; la différence de niveau dans les rapides est de 19^{m},50 et celle de la chute elle-même de 49^{m},5, soit en tout 69 mètres.

Le travail brut représente donc en nombre rond 7 millions de chevaux.

Jusqu'ici on n'utilise qu'une portion tout à fait insignifiante de cette énorme source naturelle de puissance. Sur la rive canadienne, il y a une roue en dessus qui sert à élever l'eau pour l'alimentation d'un village situé à peu de distance. Sur la rive américaine, il y a un peu plus; à Goat Island on a établi cinq canaux de prise d'eau, qui utilisent de 1^{m},20 à 5 mètres de chute et donnent une puissance totale de 800 à 1,000 chevaux, utilisée par un certain nombre d'usines.

Mais les projets d'exécution d'un parc et de promenades amèneraient la suppression de ces prises d'eau.

Il y a encore, mais en dehors du parc projeté, le canal hydraulique de 1855.

Ce canal a été creusé dans le roc, à travers la presqu'île où se trouve le village de Niagara Falls; il prend l'eau à l'extrémité des rapides et la rend au-dessous des chutes, de sorte qu'il permet d'utiliser la différence totale de niveau de 69 mètres. Il a à peu près 1,900 mètres de longueur, il devait avoir 30 mètres de largeur et 2^{m},50 de profondeur, mais il n'a été fait qu'avec 10^{m},50 de largeur. A sa partie inférieure il communique avec un bassin à angle droit, lequel peut être prolongé autant qu'il sera nécessaire parallèlement à la rivière.

Ce canal est resté près d'un quart de siècle sans être utilisé sérieusement. En 1878 il n'alimentait qu'une seule roue. Il fut acheté à cette époque par M. Schoelkopf, capitaliste de Buffalo, qui développa l'industrie dans cette région; il y a actuellement un assez grand nombre d'usines le long du canal et de nouvelles s'y construisent.

La force utilisée est de plus de 9,000 chevaux.

Les roues fonctionnent sous des chutes de 15 à 30 mètres; quelques-unes sont de très grandes dimensions, on dit même qu'il y en a qui pourraient au besoin produire 1,000 chevaux chacune avec une chute aussi forte. Ces usines sont dans des conditions excellentes, la source d'eau est illimitée, il n'y a jamais de basses eaux, et on a peu à craindre les glaces.

L'application aux usages électriques a été déjà faite, mais sur une échelle relativement petite. Une machine Brush sert à l'éclairage électrique des chutes, une machine Weston avec une lampe Serrin est employée également pour éclairer les rapides. Quelques-unes des usines emploient des machines Edison, mues par des roues principales et par des roues auxiliaires lorsque les premières ne fonctionnent pas.

L'auteur discute la possibilité d'utiliser d'une manière étendue la puissance des chutes.

Il pense qu'on peut compter 50 francs par an pour la valeur d'un cheval sur l'arbre du moteur hydraulique à Niagara; il ajoute 10 pour 100 pour le coût de la transmission, en intérêt, entretien, dépréciation. Le reste, machines électriques, appareils d'éclairage, etc., n'est pas compté, étant le même pour l'emploi d'un moteur à vapeur ou d'un moteur hydraulique.

Dans le cas du premier, on ne peut guère compter moins de 250 francs par cheval et par an, et ce prix s'élève même à 375 francs avec de petits moteurs. L'économie serait donc de 200 francs au moins, ce qui, pour 7 millions de chevaux, ferait une économie annuelle de 1,400 millions de francs.

M. Rhodes ne voit aucune difficulté à transporter immédiatement la force par des conducteurs électriques à 40 kilomètres de distance; avec quelques perfectionnements on arrivera, selon lui, à 150 ou 200 et même 300 kilomètres. L'emploi de tensions plus élevées avec des conducteurs parfaitement isolés permettra encore d'accroître ces distances.

Ces prévisions sont très optimistes, mais il ne faut pas perdre de vue que, d'après les calculs mêmes de l'auteur, les installations nécessaires pour l'utilisation des chutes du Niagara représenteraient, à 3,500 francs par cheval, la somme énorme de 25 milliards de francs; il est vrai qu'on pourrait commencer cette utilisation sur une échelle moins grandiose, mais plus facilement réalisable.

Cheminées d'usines. — Nous trouvons dans l'*American Contract Journal*, l'indication d'un procédé ingénieux pour la démolition des cheminées d'usine hors de service.

Il y avait aux forges de MM. Gilkes, Wilson, Pease et Cº, à Middlesbrough, une cheminée ancienne qu'on désirait enlever.

On ne pouvait la jeter bas à cause des bâtiments avoisinants, et il fallait la démolir brique par brique. On désirait conserver les matériaux pour les utiliser, de sorte qu'on ne pouvait jeter les briques en bas et qu'il fallait les descendre, ce qui constituait une opération très longue. L'ingénieur de

l'établissement, M. Ch. Wood imagina un arrangement qui réussit fort bien.

Il fit faire une boîte en tôle, ayant à la partie inférieure un fond mobile à charnière, lequel portait contre la tranche circulaire de la boîte par une garniture étanche en caoutchouc et pouvait être serré par un coin. Cette boîte fut placée dans le bas de la cheminée, et sur la partie supérieure de la boîte on ajouta un conduit rectangulaire en planches de $0^m,088$ sur $0^m,125$ de section intérieure. Les planches étaient bien ajustées et le joint garni de céruse pour que le conduit fut étanche. Il était fait par bouts de $3^m,50$ et les joints étaient opérés par un sabot en fonte avec garniture de chanvre et de goudron. Ce conduit montait verticalement dans la cheminée et était maintenu par des étais. On jettait les briques dedans à mesure qu'on démolissait la cheminée et, comme ces briques avaient 75 millimètres sur 112, la résistance de l'air, passant par l'intervalle laissé entre les briques et le conduit en bois, était suffisante pour que les briques arrivassent doucement et sans choc dans la boîte en tôle au bas de la cheminée. Lorsque celle-ci était pleine, un homme placé à côté frappait sur le conduit pour prévenir les ouvriers d'en haut de ne plus jeter de briques, il ouvrait la porte étanche, enlevait le contenu de la boîte et refermait la porte en donnant le signal de recommencer à jeter les briques.

A mesure que la démolition avançait, les ouvriers qui l'opéraient maintenaient le conduit à leur hauteur en coupant d'un trait de scie la partie superflue.

Bien entendu, les briques étaient nettoyées autant que possible de mortier pour pouvoir passer dans le tuyau.

Ce procédé est simple et ingénieux, et peut être appliqué utilement dans des cas analogues.

Le même article indique que l'emploi des cheminées en tôle est très fréquent aux États-Unis. MM. Witherow et Gordon, de Pittsburgh, en ont depuis 1876 construit 30, variant de hauteur de 30 à 58 mètres et de diamètre de $1^m,50$ à $2^m,75$.

La *Pensylvania Steel Company*, de Steelton, a huit cheminées en tôle des dimensions ci-après :

1	de $61^m,00$	de hauteur et	$1^m,98$	de diamètre, construite en	1881.
1	— $49^m,50$	—	$1^m,98$	— —	1877.
1	— $40^m,50$	—	$2^m,13$	— —	1880.
1	— $34^m,00$	—	$1^m,83$	— —	1881.
4	— $33^m,00$	—	$2^m,13$	— —	1869-74-75-76.

Toutes ces cheminées sont garnies à l'intérieur, sur 9 mètres de hauteur, d'une couche de briques réfractaires de $0^m,20$ d'épaisseur et, sur le reste de la hauteur, d'une couche de briques ordinaires de $0^m,10$.

Fonçage des puits par le froid. — Nous avons, dans les comptes rendus de juin 1884, page 739, dit quelques mots d'un procédé pour le fonçage des puits par la congélation.

Voici, d'après le *Zeitzchrift für Berg Hutten und Salinenwesen in Preussischen State*, des détails plus complets sur ce système, dû à M. Poetsch.

Il consiste dans la solidification par le froid du terrain aquifère, solidification obtenue par la circulation du liquide réfrigérant dans un réseau de tuyaux profondément enfoncés dans le sol. A 19 degrés centigrades au-dessous de zéro, le terrain perméable est transformé en une matière solide, à cassure conchoïde et très compacte, analogue au grès.

L'inventeur, avant d'appliquer ce procédé, l'a expérimenté de la manière suivante. Il a mis 3 1/2 mètres cubes environ de terre semi-fluide dans une caisse contenant une série de tuyaux en communication avec une machine à faire la glace. Dans ces tuyaux circulait une solution réfrigérante.

On observait soigneusement les températures à diverses distances des tuyaux. Une portion de ceux-ci était en cuivre et une autre en fer. Au bout de huit jours la masse entière était solidifiée et, en enlevant les côtés de la caisse, on obtint un bloc de la dureté du grès. On n'a pas trouvé de différence dans l'action des tuyaux en cuivre ou en fer, ce qui confirme les expériences de Reincke et de Pauksch, sur les conductibilités relatives de ces deux métaux.

Après ce premier succès, M. Poetsch trouva à faire une application à la mine de lignite d'Archibald, près de Schneidlingen, appartenant à la compagnie Douglas, à Aschersleben.

On avait creusé un puits de $4^m,50$ sur 3 mètres de section à la profondeur de $30^m,60$ dans le terrain solide. Mais, arrivé à cette profondeur, on s'était trouvé en présence d'une couche de $5^m,50$ d'épaisseur de sable aquifère superposée au filon de lignite. Tous les essais pour traverser cette couche avaient été infructueux. Pour faire écouler l'eau un trou de sonde avait été percé jusqu'à une galerie inférieure poussée dans le lignite ; cette circonstance, qui créait un courant d'eau continuel, était une difficulté pour l'application du nouveau procédé.

M. Poetsch enfonça dans le fond du puits jusqu'à $0^m,50$ dans le lignite 23 tubes de $0^m,200$ de diamètre, dont 10 sur les parois du puits. Ces tubes étaient fermés au fond par un bouchon en bois s'ajustant dans une partie conique et recouvert de couches successives de plâtre, de ciment, d'argile et enfin d'asphalte. A l'intérieur de ces tubes étaient disposés d'autres tubes de 30 millimètres seulement de diamètre, maintenus par des garnitures convenables à la partie supérieure. Ces tubes étaient tous réunis par un tube extérieur, de même pour les autres tubes. La solution réfrigérante arrivait par les premiers et remontait dans l'espace annulaire laissé entre les tubes extérieurs et les tubes intérieurs, en refroidissant le sol avec lequel les tubes étaient en contact.

Cette solution, venant d'une machine à froid de Carré placée à la surface, était refoulée dans les tubes par une pompe et retournait à la machine après avoir circulé ; c'était simplement une dissolution de chlorure de calcium qui ne se congèle qu'à 40 degrés centigrades au-dessous de zéro.

Pour observer la diminution de température du sol, on enfonça 20 tubes d'essai au fond du puits et près des parois; ces tubes de petit diamètre avaient 0^{m},50 de longueur et contenaient de la dissolution de chlorure de calcium où on immergeait un thermomètre.

On commença le 8 juillet 1883, La température du sol sur les côtés étant de 11 degrés centigrades, elle n'était plus le 9 que de 6.6; le 10, que 3; le 15, 5; le 20, 10, le 25, 16 et enfin le 31, 18. Nous nous bornons à ces quelques chiffres sans reproduire les observations journalières et détaillées.

La température de l'air se maintint dans le fond du puits aux environs de zéro et cette température ne produisit aucun effet fâcheux sur les ouvriers. Le puits était parfaitement sec et le terrain aussi dur que du grès, on l'attaquait au pic, à la pioche et à la masse. Le puits était cuvelé à mesure du fonçage. Le 30 septembre, on était arrivé au charbon et le travail était terminé.

On peut conclure qu'avec un puits circulaire une épaisseur de terre congelée de 1 mètre permet le fonçage sans cuvelage d'un puits de 2 mètres.

On fait remarquer que la circulation de l'eau dans le puits par le sondage dont il a été question a considérablement ralenti la congélation et gêné le travail. Malgré ces difficultés le succès a été complet.

L'auteur a modifié depuis sa méthode dans ses détails d'application. A la mine Archibald et à la mine Max, près de Michalkowitz (haute Silésie), les tuyaux sont enfoncés dans le sol par l'action d'une pompe à sable, aspirant à l'intérieur.

D'autres applications ont été faites à la houillière Centrum, Koenigs-Wusterhausen, appartenant au docteur W. Siemens, l'électricien bien connu, où 33 mètres de sable ont été traversés sans aucune difficulté en 33 jours, et à la mine Émilia, à Fensterwalde, où un puits de 2^{m},70 a pu être foncé à travers une couche de 36 mètres de sables boulants.

Le procédé Poetsch présente un grand intérêt pour le fonçage des piles de ponts. Dans ce cas, on descend un caisson étanche jusqu'à 3 à 5 mètres au-dessous du fond de la rivière, on chasse l'eau par l'air comprimé, puis on place des tubes réfrigérants suivant le périmètre du caisson à l'intérieur jusqu'au terrain solide. Lorsque le sol est congelé, on l'extrait et on construit la pile.

L'inventeur vient de passer avec le gouvernement roumain un contrat pour la construction des 12 piles du grand pont de Bucharest.

On se propose également d'en faire d'importantes applications aux États-Unis.

Cette méthode est très simple et très ingénieuse; on invoque principalement en sa faveur la certitude de son fonctionnement, laquelle supprime à peu près complètement les aleas, source si commune de dépenses supplémentaires et de pertes de temps dans ce genre de travaux.

Anciennes appréciations sur l'avenir des chemins de fer. —

Il est curieux de retrouver les appréciations émises à l'origine sur les débuts des grands progrès industriels au milieu desquels nous vivons, chemins de fer, bateaux à vapeur, canaux, éclairage au gaz, etc. Ces appréciations allaient souvent d'un extrême à l'autre, c'est-à-dire que les uns contestaient à peu près tout avenir aux innovations en question, alors que d'autres, dans leur enthousiasme, ne leur assignaient aucune limite. On ne saurait peut-être trouver d'exemple plus frappant de ces opinions si divergentes réunies dans un même article, qu'une note intitulée: *du Transport par les Canaux, les Routes à rainures de fer et les Voitures à vapeur*, contenue dans le premier numéro de la *Revue Britannique*, en 1825. On sait que la *Revue Britannique*, publiée à Paris, se composait, comme l'indiquait d'ailleurs son sous-titre, d'un choix d'articles traduits des meilleurs écrits périodiques de la Grande-Bretagne, sur la littérature, les beaux-arts, les arts industriels, les sciences, etc. L'article en question était traduit du *Quaterley Review*, revue trimestrielle très appréciée à l'époque.

Nous sommes bien éloignés, dit cet article qu'on ne saurait ranger dans la catégorie des enthousiastes, de chercher à favoriser les projets de ceux qui voudraient établir des routes à rainures dans chacune des parties du royaume, et supprimer à la fois tous les canaux, tous les chariots, toutes les messageries, toutes les chaises de poste, en un mot tous les moyens de transport autres que les voitures à vapeur. Nous croyons que l'on s'exagère beaucoup les avantages, d'ailleurs incontestables, de ces voitures et que ces exagérations conduisent à des spéculations très malheureuses.

Que peut-on en effet voir de plus ridicule que le paragraphe suivant d'un prospectus qu'on vient de publier.

« D'après l'estimation faite par des ingénieurs expérimentés: la dépense d'une route à rainures doit être de 5,000 livres sterling par mille (80,000 francs par kilomètre). Mais supposons qu'il faille le double (plaisante supposition pour des ingénieurs expérimentés!) Une route de ce genre entre Londres et Woolwich coûterait 100,000 livres sterling, (2,500,000 francs). Le nombre des petites voitures qui parcourent cette ligne est d'environ deux cent cinquante par jour. En admettant que ces voitures, terme moyen, soient seulement à demi-remplies, les recettes annuelles pour le transport des voyageurs doivent se monter à 26,000 livres sterling (650,000 francs). Comme les voitures à vapeur parcourent la même distance deux fois plus vite et avec beaucoup plus de sûreté, elles feront bientôt abandonner l'usage des autres voitures et la compagnie retirera probablement des voyageurs, indépendamment de ce que produira le transport des bagages, un revenu de 20,000 livres sterling ou de 20 pour 100 du capital de 100,000 livres sterling supposé nécessaire pour établir la route à rainures de Woolwich. »

Nous ne sommes pas surpris que M. P. Moore et quelques autres de ses codirecteurs, qui probablement n'ont jamais vu ni une machine à vapeur ni une route à rainures, aient mis leurs noms à de pareilles absurdités,

mais nous ne devions pas nous attendre à ce qu'un ingénieur, M. Telford, consentirait à y donner la sanction du sien. Un concitoyen de cet ingénieur nous assure aussi qu'au moyen de la machine à haute pression, nous pourrons faire plus de quatre cents milles par jour (640 kilomètres), ou quinze à vingt milles à l'heure (24 à 32 kilomètres), avec la même aisance que dans les bateaux à vapeur, mais sans le désagrément du mal de mer et sans courir le risque d'être brûlé ou noyé. Malgré ces garanties, nous pensons que les habitants de Woolwich aimeraient autant être lancés sur une fusée à la congrève que de monter dans des voitures semblables qui iraient d'un pareil train. Peut-être consentiraient-ils à y charger leurs bagages et leurs marchandises, mais, tant qu'une des plus belles rivières navigables du monde coulera parallèlement à la route projetée, nous considérons les 50 pour 100 que les souscripteurs doivent recevoir pour le transport des effets comme aussi problématiques que les 20 pour 100 qu'ils comptent percevoir sur les voyageurs.

Voici dans le même article un paragraphe plus encourageant et quelque peu en contradiction avec le précédent.

Il n'y a aucun doute qu'un poids réduit puisse être transporté avec un mouvement accéléré et une sûreté égale au moyen de la machine à vapeur, mais nous croyons qu'il convient d'ajourner l'examen de cette partie de la question jusqu'à ce que les routes à rainures et les machines locomotrices aient acquis ce degré de perfection auquel elles doivent arriver un jour.

Cependant, sans attendre ce moment fort désirable, nous terminerons cet article par l'extrait d'une brochure d'un partisan très spirituel, quoiqu'un peu bizarre, des routes à rainures.

« Il est raisonnable de penser que les hommes, dont la susceptibilité nerveuse est la plus facilement excitable, pourront avant peu se placer dans une voiture traînée ou poussée par la machine locomotrice avec plus de garanties, de sûreté, et moins d'inquiétudes, que lorsqu'ils montent aujourd'hui dans une voiture conduite par quatre chevaux dont la force et l'allure sont inégales, qui sont d'ailleurs exposés à cette multitude d'accidents qui menacent sans cesse tout ce qui vit et est animé par des passions qu'une force supérieure peut seule contenir. Sans contredit, une force inanimée, qui n'a besoin pour être mise en action, dirigée ou arrêtée que du doigt ou du pied d'un homme, doit inspirer plus de confiance aux voyageurs que des animaux dont les caprices peuvent compromettre son existence, si un conducteur attentif et vigoureux ne les réprime. Qu'on se transporte en idée dans vingt ou trente ans, lorsque cette machine sombre, grossière, informe qui choque maintenant nos regards, sera remplacée par une autre d'une construction élégante, parée de toutes les pompes du luxe et décorée d'écussons héraldiques comme un carrosse sorti des ateliers de Long-Acre.

Cette nouvelle machine ne blessera pas l'odorat par les exhalaisons du charbon ou de l'huile de baleine, mais elle embaumera l'air et flattera les sens du voyageur par le parfum que la même force qui la fera mouvoir, extraira, à peu de frais, de quelque production de la terre. Au lieu du bruit

monotone et étourdissant de nos voitures actuelles, le jeu de ses ressorts produira des sons harmonieux. Enfin, au moyen de cette même machine, on pourra préparer un dîner plus somptueux et plus confortable que ceux que l'on sert, en 1825, aux voyageurs d'une diligence. Mais laissons là ces hypothèses dont, au surplus, la cause que nous défendons n'a pas besoin et bornons-nous à garantir que ni le sens de l'odorat, ni ceux de la vue et de l'ouïe ne perdront au change lorsque les voitures à vapeur remplaceront celles qui sont en usage aujourd'hui. »

On doit être indulgent pour ces appréciations fantaisistes toutes antérieures à l'année 1829, où la locomotive montra au célèbre concours de Rainhill ce qu'on pouvait en attendre ; mais on doit être étonné de trouver à côté, émises à la même époque, des idées dont la justesse a été démontrée plus tard par l'expérience, et qui n'ont eu que le tort de devancer leur époque. Nous en citerons deux exemples empruntés également à des numéros de la *Revue Britannique* de 1826 à 1827.

Le premier a rapport aux appareils de transmission d'ordres aux machines des bateaux à vapeur, d'un usage général aujourd'hui.

On emploie maintenant à bord d'un bateau à vapeur écossais un instrument qui, s'il était généralement adopté, serait très utile pour ce genre de navigation. Par le simple mouvement d'une aiguille placée sur une table, à portée de la vue et de la personne qui est au gouvernail et du commandant du navire, on peut commander de suite tous les mouvements que la machine est susceptible d'imprimer aux roues. On peut faire manœuvrer le navire en avant, en arrière, retarder sa course ou l'arrêter entièrement, en tournant seulement l'indicateur vers les endroits marqués par les divisions d'un cadran. De cette manière on est maître de la machine comme du gouvernail, et l'on prévient la confusion qui n'arrive que trop souvent pendant la nuit, lorsqu'on n'a d'autre ressource pour faire parvenir les ordres au mécanicien que de les crier ou de les transmettre par l'intermédiaire de plusieurs personnes ; souvent alors le mot est mal compris ou le machiniste n'entend pas, circonstances qui peuvent toutes amener les accidents les plus sérieux.

Cette application paraît n'avoir eu aucune suite, car on sait qu'il y a encore bien peu de temps, les bateaux de la Tamise n'avaient (et beaucoup n'ont peut-être même encore) de moyen de communication entre le capitaine et le mécanicien que le mousse classique, accroupi sur le panneau de la machine, et répétant d'une voix glapissante les ordres donnés par le premier (voir Chronique de juin 1881, page 663).

Le second exemple se réfère à un travail des plus importants en cours d'exécution en ce moment en Angleterre[1].

« Le port de Liverpool, disait la *Revue Britannique* en 1827, assis sur la Mersey, à trois milles de l'embouchure de cette rivière, est situé en face du Chestershire, dont il est séparé par une largeur maritime de cinq quarts de

1. Voir Chronique de février 1883, p. 249.

mille ou à peu près. Les rapports importants et multipliés qui existent entre les comtés de Lancastre et de Chester, les difficultés et les dangers du passage d'une rivière où les vagues orageuses, refoulées par la mer, arrêtent parfois la navigation pendant des jours entiers ont fait naître, il y a quelque temps, les projets d'un passage subfluvial, semblable à celui qu'on creuse maintenant sous la Tamise. Les auteurs de ce projet, voulant sans doute attendre les résultats des travaux commencés à Londres, ont ajourné jusqu'ici l'exécution de cette entreprise colossale, et c'est depuis un mois seulement qu'elle est devenue le sujet d'un nouvel examen et d'une discussion.

M. Beamish, l'un des ingénieurs du tunnel sous la Tamise, étant venu assister aux dernières séances tenues pour cet objet, annonça à l'assemblée, de la part de M. Brunel, qu'il est hors de doute que l'on pourra pratiquer un passage sous la Mersey, en employant les procédés que l'on emploie à Londres. Il estime que les dépenses ne s'élèveront guère qu'à 4 ou 5 millions de francs, tandis que les produits, calculés sur une échelle très limitée, devront se monter de 300 à 375,000 francs.

Dans une séance subséquente, on a donné connaissance de la lettre suivante, du 19 mai 1827, écrite par M. Brunel à l'un des membres de la réunion : « Vous aurez entendu parler de notre dernier désastre, dont les détails exagérés ont pu porter le découragement dans les esprits de vos amis; vous pouvez cependant les assurer que, loin de nous inspirer des craintes, cet événement n'a fait qu'augmenter notre confiance, puisque le bouclier a préservé les ouvriers du danger d'être engloutis sous l'éboulement et empêchera la rivière d'arrêter nos efforts par l'ouverture occasionnée dans son lit. Chez vous, pareille chose ne saurait arriver; si, comme on le présume, la Mersey coule sur un lit de rocher, nous travaillerons avec une entière confiance. Il a fallu une ouverture de près de six pieds pour remplir d'eau notre tunnel. Aucune irruption de ce genre n'est à redouter sous le rocher. »

Ce projet, considéré comme l'un des plus hardis qui aient jamais été conçus dans la Grande-Bretagne, occupe beaucoup les esprits à Liverpool. Son exécution sera un nouveau monument du génie du grand ingénieur français qui, si heureusement pour l'Angleterre, lui a consacré son talent. »

Adhérence des locomotives. — Voici quelques considérations sur le fonctionnement des machines locomotives, lesquelles, sans être nouvelles, ne semblent pas suffisamment connues.

Le travail d'une machine à vapeur quelconque peut se représenter, pour un tour de l'arbre moteur, par l'expression

$$p \frac{\pi d^2}{4} 2 l$$

et s'il y a deux machines accouplées sur le même arbre par

$$p \pi d^2 l \qquad (1)$$

expression dans laquelle p est la pression moyenne effective sur les pistons par centimètre carré, d le diamètre de ces pistons et l leur course.

Si les deux cylindres actionnent l'essieu moteur d'une locomotive, l'effort de traction T qui se trouvera produit à la jante des roues d'un diamètre D, se trouvera donné par la relation

$$T \times \pi D = p \pi d^2 l$$

d'où on tirera en faisant disparaître π des deux côtés

$$T = p \frac{d^2 l}{D} \qquad (2)$$

Nous avons négligé de tenir compte de la résistance des pièces du mécanisme due au frottement, laquelle ne figure pas dans l'équation (1), qui donne la puissance brute sur les pistons ou *puissance indiquée*, tandis que T, dans l'équation (2), est l'effort net.

Généralement p au lieu d'être la pression moyenne effective est la pression à la chaudière et on affecte le second membre de l'équation (2), d'un coefficient qui tient compte, à la fois, de la réduction due à la résistance propre des mécanismes et de la différence entre la pression à la chaudière et la pression moyenne effective sur les pistons. Ce coefficient est très arbitraire; on le compte toutefois généralement aux environs de 0,65. Il en résulte que, si les frottements du mécanisme sont évalués à 12,5 pour 100, le coefficient de réduction, pour passer de la pression à la chaudière à la pression moyenne effective sur les pistons, sera de $\frac{0,65}{0,875} = 0,731$.

Tout cela est certainement très connu, mais voici où nous voulions en venir. M. A. Fliegner, professeur de mécanique à l'École polytechnique de Zurich, a donné dans le *Schweizerische Bauzeitung* (anciennement *Eisenbahn*), une étude très remarquable sur l'adhérence des locomotives, où il étudie l'influence sur cette adhérence du mode d'action de la machine motrice. Nous nous bornerons pour le moment à extraire de cette étude la partie qui se rapporte aux considérations que nous avons en vue.

Dans l'équation (2) donnée plus haut, pour que T, effort de traction, lequel est en rapport dans des limites assez circonscrites avec la pression exercée par les roues motrices sur les rails, fût constant, il faudrait que p le fût, or p, étant la pression moyenne effective sur un piston, est essentiellement variable d'un point à l'autre de la course des pistons.

Mais il y a plus. Si on appelle P l'effort total, variable pendant les diverses phases de la course, exercé par la vapeur sur un piston, lequel est égal à $p \frac{\pi d^2}{4}$, et α l'angle que fait la bielle avec l'horizontale, l'effort P

se partage en deux composantes, l'une normale à la direction de la bielle et dont la valeur est :

$$N = P\, tg\, \alpha,$$

l'autre dirigée suivant l'axe de la bielle motrice,

$$Q = \frac{P}{\cos \alpha}.$$

Cette dernière appliquée au bouton de manivelle est également partagée en deux composantes dont l'une est dirigée suivant le rayon de la manivelle et l'autre tangente à la circonférence d'un rayon r, décrite par ce bouton ; cette dernière a pour expression :

$$T' = P \frac{\sin\left(\varphi \pm \alpha\right)}{\cos \alpha},$$

φ étant l'angle que fait le rayon de manivelle avec l'horizontale. Le rap- des angles φ et α dépend du rapport de la bielle à la manivelle.

De l'autre côté de la machine, on a un autre effort tangentiel T'' exercé par une bielle sur une manivelle calée à 90° de la première.

On aura donc en faisant la somme de ces deux efforts tangentiels :

$$(T' + T'')\, r = T \times \frac{D}{2}.$$

Si G est la charge exercée par les roues motrices sur les rails, c'est-à-dire ce qu'on appelle le poids adhérent, on doit avoir :

$$max\, T \leqq \mu\, G,$$

μ étant le coefficient de frottement entre les bandages des roues et les rails.

Appelons R la résistance du train ; elle peut être considérée comme constante pour des conditions de vitesse, de charge et de profil déterminées.

On va voir que $\frac{T}{R}$ rapport de l'effort de traction à la résistance varie à chaque période de la course.

M. Fliegner a calculé le rapport $\frac{T}{R}$ pour des valeurs de l'angle φ de la manivelle avec l'horizontale variant de 10 en 10 degrés, dans les conditions ordinaires des locomotives, c'est-à-dire en supposant un

rapport de 5 entre la longueur de la bielle et celle de la manivelle et la manivelle du cylindre de gauche en avance de 90° sur la manivelle de droite pour la marche en avant.

Ce calcul a été effectué pour un certain nombre d'hypothèses basées sur les différentes admissions de vapeur et sur d'autres considérations. Nous ne nous occuperons que les premières.

L'auteur a tenu compte de l'influence des pièces en mouvement alternatif en prenant le poids du piston, de la tige du piston, de la crosse et des deux tiers de la bielle motrice, pour 233,5 kilogs, ce qui donne une masse m de 22,81. Il réduit l'effet de cette masse en effort additionnel sur le piston par l'expression :

$$P' = m\, r\, \omega^2 \left(\cos\varphi \mp \frac{r}{l} \cos 2\varphi \right).$$

On admet pour ces premières hypothèses $\omega^2 = 100$, ω étant la vitesse angulaire de la manivelle, ce qui correspond à 96 tours de l'essieu moteur par minute, vitesse très modérée.

Nous ne donnerons pas *in extenso* les chiffres de M. Fliegner, lesquels forment des tableaux très étendus; nous nous bornerons à indiquer les rapports extrêmes dans un sens et dans l'autre de $\frac{T}{R}$ pour diverses admissions de vapeur.

Valeur de l'angle φ marquant la fermeture de l'admission		90°	70°	60°	50°
Admissions correspondantes en centièmes de la course.		53	37	28	20
Valeurs extrêmes de $\frac{T}{R}$	maximum	1.127	1.299	1.460	1.621
	minimum	0.904	0.706	0.582	0.518.

L'auteur fait voir l'influence de la vitesse en introduisant, dans le derniers cas ci-dessus l'introduction à 20 pour 100 de la course, l'hypothèse de $\omega^2 = 800$; ce qui correspond à 270 tours de roues par minute, soit 90 kilomètres à l'heure avec les roues de 1m,73 de diamètre des machines à voyageurs des chemins de fer de l'État prussien. Nous donnons ci-dessous les valeurs extrêmes de $\frac{T}{R}$ pour les vitesses de 100 et 270 tours avec la même admission de 20 pour 100.

100 tours $\frac{T}{R}$ = de 0.518 à 1.621

270 — — = de 0.438 à 1.648.

Nous devons d'ailleurs faire observer que la différence des valeurs extrêmes n'est pas la seule considération, il faut tenir compte de la loi de variation des valeurs de $\frac{T}{R}$, ce qu'on établirait facilement par un tracé graphique d'après les tableaux de M. Fliegner; nous nous contentons d'appeler l'attention sur ce point.

On doit en conclure que plus les admissions seront prolongées, bien entendu dans les limites de la pratique, moins le rapport de l'effort de traction à la jante des roues à la résistance différera de l'unité en plus et en moins. C'est donc encore là un des avantages du fonctionnement Compound qui permet de fortes expansions avec des détentes modérées dans chaque cylindre.

M. Fliegner signale particulièrement ce point. L'expérience a d'ailleurs confirmé cette manière de voir ; nous pouvons citer, entre autres exemples, celui des machines Compound à marchandises à six roues couplées construites sur les plans de M. Von Borries, pour les chemins de fer de l'État de Hanovre, par la maison Henschel, de Cassel et dont nous avons parlé dans la Chronique de février 1882, page 220.

Ces machines, comparées à des machines semblables, mais à fonctionnement ordinaire, pèsent 3 pour 100 de plus et traînent des charges de 6 à 8 pour 100 plus fortes ; l'adhérence y est donc mieux utilisée.

Nous devons dire que cet avantage de la locomotive Compound avait été signalé déjà par M. Schaltenbrand, dans un article publié dans *l'Organ* de 1879, page 119 et suivantes.

Chemins de fer à voie étroite aux États-Unis. — Nous trouvons dans un journal américain une appréciation assez singulière du rôle de la voie étroite pour les chemins de fer. D'après le *New-York Herald*, les chemins de fer à voie étroite auraient complètement échoué dans les États de l'Ouest où la voie normale est largement adoptée ; la première disparaîtra graduellement comme a disparu la voie de six pieds d'écartement (1^m,83), très en usage dans le Sud, il y a encore quelques années. La voie étroite n'a d'avantages que dans certains pays de montagnes, comme le Denver et le Rio-Grande où elle se maintiendra.

Elle peut être établie à bon marché et, pour cette raison, peut déterminer la construction d'un chemin de fer qu'on ne ferait pas sans cela.

Si le trafic devient suffisant, on élargit alors la voie à l'écartement normal; c'est ce qu'on vient de faire pour plus de 800 kilomètres, au Toledo, Cincinnati et Saint-Louis, réseau où le trafic est aujourd'hui très développé, mais qui n'aurait probablement jamais été construit s'il avait fallu l'établir immédiatement à la voie normale.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MAI 1884.

Complément à de précédentes notes sur la poussée des terres, par M. J. BOUSSINESQ, professeur à la Faculté des sciences de Lille.

Note sur le **chemin de fer funiculaire du Rigi-Vaudois**, par M. F. MEYER, ingénieur des ponts et chaussées.

Cette petite ligne, construite par M. Riggenbach, relie la station de Territet sur le bord du lac de Genève, au village de Glion, surnommé le Rigi-Vaudois, à cause de la vue très pittoresque et très étendue dont on y jouit.

La différence de niveau est de 300 mètres pour une distance horizontale de 586 mètres et une longueur suivant le rail de 674 mètres. Il y a 95 mètres en rampe de 30 pour 100, 32 mètres en raccordement et 547 mètres en rampe de 57 pour 100.

Il y a deux voies à l'écartement d'un mètre, elles sont très rapprochées, mais s'écartent au milieu sur 85 mètres de longueur pour le croisement des deux voitures : les rails pèsent 17 kilogrammes le mètre et sont fixés sur des traverses en fer formées d'un rail de 36 kilogrammes, posé par les deux extrémités sur des murs parallèles en maçonnerie.

Entre les deux rails de chaque voie est posée une cremaillère pesant 50 kilogrammes le mètre du modèle de celle du Rigi.

A la partie supérieure est une poulie inclinée sur laquelle passe un câble métallique aux deux extrémités duquel sont attachées les voitures. Ce câble est formé de 6 torons dont chacun comprend 19 fils d'acier fondu de 2 millimètres, le diamètre est de 35 millimètres, le poids de 4 kilogrammes le mètre et la charge de rupture de 57,000 kilogrammes, ce qui correspond à 59 kilogrammes par millimètre carré. Le câble est supporté sur la voie par des galets espacés de 18 mètres.

Les voitures pèsent à vide 7,000 kilogrammes, elles contiennent 30 places, un compartiment de bagages et une plate-forme pour les agents. Sous la voiture est une caisse de 7 à 8 mètres cubes de capacité pour l'eau qui est l'agent de propulsion.

Le système est celui du Giessbach, que nous avons décrit dans la Chronique d'avril 1880, page 504. Les deux wagons sont disposés de manière à faire un équilibre qui est rompu par la charge d'eau du wagon descendant. Les essieux, en outre de leurs roues de support, ont au milieu une roue dentée qui engrène dans la crémaillère et sert à modérer la descente et à prévenir les accidents, notamment les conséquences de la rupture du câble.

Il y a un frein à main manœuvré par le chef de train et agissant sur une roue à cannelures fixée aux roues dentées, un frein à contrepoids qui agit automatiquement en cas de rupture du câble et qui agit sur ces mêmes roues, et enfin un frein à air comprimé, composé d'un cylindre, dans lequel se meut un piston actionné par l'essieu, lequel piston comprime de l'air, ce qui produit la résistance à la descente.

Le chemin de fer de Territet-Glion fonctionne, avec un succès complet, depuis le 18 août de l'année dernière. La dépense d'établissement a été de 480,000 francs.

Nous pouvons ajouter à la note de M. Meyer que, du 18 août 1883 au 18 août 1884, les recettes brutes se sont élevées à 62,500 francs; comme les frais d'exploitation sont très faibles à cause du système de traction, le revenu peut être considéré comme devant être très satisfaisant.

Un chapitre de l'histoire des ponts et chaussées, par M. Tarbé de Saint-Hardouin, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

Il s'agit de l'attribution des travaux des ports maritimes de commerce qui, confiés dès 1761, en principe, aux ingénieurs des ponts et chaussées, le furent définitivement à ces mêmes ingénieurs, par un décret du 27 avril 1800, confirmé par un autre du 25 août 1804.

Réclamation de priorité au sujet de **l'application des procédés graphiques au calcul du mouvement des terres,** par M. L. Lalanne, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

Le numéro de juillet 1883 des *Annales des Ponts et Chaussées* contenait un mémoire de M. Paul Lévy, intitulé : « Note sur un procédé de calcul du mouvement des terres, dit procédé Bruckner.» M. Lalanne rappelle que ce procédé, dû à feu Bruckner, ingénieur bavarois, et publié par Culmann, dans sa *Statique graphique*, n'est autre chose que celui qui avait été indiqué par lui-même dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1840, et dont l'emploi était facilité par l'appareil également dû à M. Lalanne et bien connu sous le nom d'*Arithmoplanimètre*.

JUIN 1884

Paroles prononcées sur la tombe de M. Scherer, inspecteur

général des ponts et chaussées, par M. Chatoney, inspecteur général, vice-président du conseil général des ponts et chaussées.

Notice nécrologique sur M. M. Benard, inspecteur général des ponts et chaussées, par M. Hirsch, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Notice sur l'emploi des doubles flotteurs, pour la mesure des vitesses dans les grands cours d'eau, par M. H. Bazin, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

On sait que les doubles flotteurs reliés par un cordeau sont, l'un à la surface, l'autre à une certaine profondeur. Il y a là deux causes d'erreur qui croissant, l'une avec la profondeur, l'autre avec la vitesse absolue, contribuent à donner des vitesses exagérées. Les résultats sont alors en désaccord complet avec ceux que donne le moulinet.

L'auteur compare diverses expériences récentes, savoir :

1° Expériences de M. Ellis, sur le Connecticut (1874, moulinet et flotteurs) ;

2° Expériences de M. Allan Cunningham sur le canal du Gange (1874-1879, flotteurs) ;

3° Expériences de M. Harlacher sur l'Elbe et le Danube (1876-1879, moulinet) ;

4° Expériences de MM. Nazzani et Zucchelli sur le Tibre (1880-1881, moulinet et flotteurs) ;

5° Expériences de M. Gordon sur l'Irawaddy (1882, moulinet et flotteurs).

On peut conclure de la comparaison de ces expériences, que les résultats obtenus avec le moulinet, dans des conditions très diverses, concordent d'une manière remarquable, mais qu'il n'en est pas de même avec les flotteurs. Les corrections qu'on doit employer avec ce dernier procédé sont très difficiles à établir, et on ne saurait appliquer les formules qu'avec une extrême prudence aux grandes rivières à fond mobile; autrement, on s'exposerait aux plus grands mécomptes.

Résultat de recherches sur **la marche du durcissement des mortiers de ciment de Portland dans l'eau et dans l'air,** par M. de Perrodil, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La conclusion de ces expériences, exécutées du 14 août 1883 au 13 février 1884, sur du ciment de Portland de Boulogne-sur-Mer, provenant des usines Lonquety et Demarle, est : 1° que la résistance des mortiers de ciment est plus grande dans l'eau que dans l'air; 2° que l'eau d'hydratation a une très grande influence sur le durcissement, soit qu'elle se combine avec l'aluminate de chaux pour former un hydrate d'aluminate de chaux qui acquiert une grande dureté, soit qu'elle s'unisse à de la chaux libre pour la rendre capable d'agir pouzzolaniquement sur le silicate de chaux, comme le suppose M. Fremy.

Note des tracés particuliers des courbes à anses de panier à cinq centres, par M. R. Bloch, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Cette note a pour objet de donner des procédés géométriques et des formules algébriques pour déterminer les éléments des anses de panier à cinq centres dans les trois cas suivants :

1° Courbes en anse de panier à cinq centres avec des rayons en progression arithmétique et des angles aux centres quelconques;

2° Courbes en anse de panier à cinq centres, avec des angles au centre donnés et en particulier ces angles en progression arithmétique;

3° Courbes en anse de panier à cinq centres, avec les rayons et les angles aux centres en progression arithmétique.

Tableau des **recettes de l'exploitation des chemins de fer français** d'intérêt général, pendant les années 1882 et 1883.

Tableau des **recettes de l'exploitation de chemins de fer algériens** pendant les années 1882 et 1883.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Communication de M. Baretta sur la **pile Bennett ou pile économique.**

Cette pile, imaginée par M. Bennett, de Glascow, se compose d'un vase en fer, d'un vase poreux et d'une lame de zinc. Entre le premier et le second vase, on met de la tournure ou limaille de fer et dans le vase poreux une solution de soude ou de potasse caustique. L'emploi du fer en petits fragments empêche la pile de se polariser et lui permet de conserver longtemps sa force électromotrice. Cette pile est très économique.

Communication de M. Choubley sur **la fabrication de l'acier Martin.**

C'est un résumé d'une étude comparative faite par M. Erik G. Von Oldjesterna, ingénieur suédois, entre les procédés en usage en Suède pour la fabrication de l'acier Martin et ceux en vigueur en Autriche, Allemagne, France et Angleterre.

Après avoir classé les fours Martin en deux catégories : Pernot et Siemens, l'auteur examine successivement la capacité, les dimensions, la construction des diverses parties, puis les opérations de chargement, fusion, pièces d'essai, coulée, etc., et termine par des comparaisons sur la capacité de production, le déchet et la consommation de combustible.

Communication de M. Leblanc sur les **perfectionnements apportés par M. Criner aux foyers des chaudières à vapeur**

Dans les foyers de chaudières, la durée du contact de l'oxygène de l'air avec le charbon dépend, pour une même couche de combustible, de la vitesse de l'air qui les traverse; plus le tirage sera fort, moins le contact aura de durée et moins l'oxygène absorbera de carbone; comme la couche n'est pas homogène, la composition des gaz varie d'un point à l'autre et on perd, par la combustion incomplète, une notable quantité de calorique qui s'en va sous forme d'oxyde de carbone.

M. Criner s'est proposé de rendre la combustion aussi complète que possible, en forçant les gaz à se mélanger, lorsqu'ils sont encore à une température supérieure à celle d'extinction ; il emploie pour cela une série de chicanes convenablement disposées. On a obtenu ainsi une économie de combustible de 10 à 25 pour 100, une augmentation de la puissance des générateurs et enfin une fumivorité à peu près complète. L'installation est peu coûteuse, 150 à 200 francs par foyer.

Communication de M. Buisson, sur la **Soupape de sûreté Lethuillier et Pinel.** — On sait que, dans les soupapes ordinaires, lorsque la sortie de la vapeur commence à se produire, la pression par unité de surface exercée sur la partie inférieure de la soupape devient moindre que celle de la chaudière, et que la soupape ne peut dès lors être maintenue soulevée que par un excès de pression dans le générateur. Pour remédier à cet inconvénient, MM. Lethuillier et Pinel, de Rouen, ont disposé, au-dessus du clapet proprement dit, un disque-plan contre lequel vient frapper la vapeur qui, s'échappant de dessous le clapet, est arrêtée par une enveloppe circulaire faisant partie du siège et est en partie renvoyée sous le disque dont il vient d'être parlé. Cette vapeur qui s'échappe à une pression un peu moindre que la pression statique dans la chaudière, agissant sur une surface plus grande, maintient le clapet levé aussi longtemps qu'il est nécessaire, pour permettre l'écoulement de l'excès de vapeur et maintenir la pression au degré voulu.

Communication de M. Buisson, sur **la chaudière à vapeur Babcock et Wilcox.**

Cette chaudière, qu'on a pu voir à l'Exposition d'électricité de Paris en 1880, est une chaudière avec l'eau dans les tubes. Ceux-ci sont inclinés et réunis par faisceaux dans le sens vertical ; chaque faisceau communique

par l'avant et l'arrière avec un bouilleur supérieur, formant corps de chaudière.

Fonçage des puits aquifères par congélation. — Voir ci-dessus, page 14.

DISTRICT DU SUD-EST, SÉANCE DU 6 AVRIL 1884.

Communication de M. Zyromski, sur **les gaz dégagés dans le vide, sous l'action de la chaleur, par le fer fondu et le fer affiné.**

L'auteur a employé pour le dégagement des gaz un appareil installé à Bessèges, pour l'analyse du gaz des houilles et formé d'un tube en porcelaine horizontal, communiquant avec une sorte de baromètre à mercure, dont la partie supérieure communique avec un réservoir, tandis que le bas plonge dans une cuve à mercure; en faisant couler du mercure par le réservoir on fait le vide dans le tube en porcelaine dans lequel on chauffe l'échantillon de métal à essayer; on recueille les gaz dans une éprouvette graduée.

On a constaté que, s'il n'y a presque pas de différence entre le volume des gaz extraits du fer fondu ou du fer affiné, il y a une différence considérable dans la composition de ces gaz. Il y a plus d'hydrogène dans le premier (25 fois plus) et plus d'oxyde de carbone dans le second (5 fois plus).

Cette composition des gaz serait assez caractéristique pour permettre, par cette méthode, d'apprécier si on se trouve en présence d'un métal fondu ou d'un métal affiné.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, SÉANCE DU 7 JUILLET.

Foyers Criner. — M. Leblanc complète la communication qu'il a faite dans la séance du 7 juin (voir ci-dessus, page 161), par quelques renseignements sur les applications déjà faites. Ces foyers sont déjà adoptés dans plus de quatre-vingts établissements industriels et ont donné les résultats indiqués précédemment.

Des essais ont été faits avec soin aux mines de Bascoup-Mariemont pendant une semaine, et ont fait constater une économie supérieure à 15 pour 100. Au puits Mars, de la Compagnie des Houillères de Saint-Étienne, à Meons, on a obtenu le même chiffre; aux sucreries de Saulzoir (Nord), on a marché toute la dernière campagne avec 20 foyers Criner et l'augmentation de puissance des générateurs a été trouvée de près de 20 pour 100. A la mine de Ransart (Belgique), on a obtenu une économie de 15 pour 100. Des essais faits en juin 1884, par M. Lambert, ingénieur en chef de l'Association des

propriétaires d'appareils à vapeur de Reims, sur une chaudière à trois bouilleurs, installée chez MM. Vaucher, Buylinski et Cie, teinturiers apprêteurs à Troyes, a fait constater une vaporisation de 8k,142 d'eau par kilog. de houille, supérieure de 13 pour 100 à la vaporisation obtenue précédemment avec la même chaudière et un foyer ordinaire.

Communication de M. Brustlein, sur **les gisements de minerai de fer de la province de Norrboten (Laponie)**.

Ces gisements sont situés dans le nord de la Suède, à la latitude des îles Lofoden, 68° N. Leur abondance est extrême et leur richesse atteint de 62 à 75 pour 100. Ce sont des minerais magnétiques avec un peu d'hématite.

On peut estimer à 285 millions de tonnes la masse de ces minerais. On s'occupe d'établir un chemin de fer, *the Northern of Europe Railway*, dont une partie ouverte dès 1887 permettra de commencer une première exploitation. On établira en même temps à Ofoten des quais de chargement et les installations de ports nécessaires. Le minerai pourra ainsi revenir à 10 fr. 40 la tonne à bord à Ofoten. Comme on peut craindre que les minerais de Bilbao ne suffisent plus longtemps à la consommation, les minerais de Laponie viendraient à propos suppléer au déficit. Ces renseignements sont extraits d'un article de M. P. de Schwarze, de Dusseldorf, publié dans le numéro de juin 1884 du journal *Stahl und Eisen*.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

N 29. — 19 *Juillet* 1884.

Emploi de l'électricité dans les industries chimiques, par le Dr F. Fischer.

Nouvel établissement hydraulique de Stuttgard, par M. H. Lobel (*suite*).

Etude sur les signaux pour la protection des trains de chemins de fer dans les tunnels, par Franz Gattinger.

Appareils de levage. — Ascenseurs Heurtebise à l'Exposition de Nice. — Ascenseurs hydrauliques pour personnes, du système Cramer.

Groupe de Hanovre. — Emploi de l'acier pour les grosses pièces de machines.

Groupe de Saxe-Anhalt.

Patentes.

Variétés. — Éclairage électrique des fosses de la Société des houillères

de Mechern. — Découverte d'un gisement de soufre. — Influence des substances minérales sur la résistance du papier. — Résultats de l'éclairage de la rue de Leipzig et de la place de Postdam, à Berlin. — Vitesse de la transmission télégraphique. — Rails d'acier en France. — Résultats financiers de l'Exposition nationale Suisse à Zurich.

N° 30. — 26 *Juillet* 1884.

Nécrologie. — Ferdinand Decker.

Emploi de l'électricité dans les industries chimiques, par le Dr F. Fischer.

Nouvel établissement hydraulique de Stuttgard, par M. Lobel (*suite*).

Les périodes du travail de la déformation et leurs conséquences au point de vue de la résistance des matériaux, par H. Muller, de Breslau.

La réunion de printemps de l'Institut du fer et de l'acier, par Fritz Lurmann.

Roue hydraulique en dessus de Duponchel.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Chute d'une cheminée d'usine.

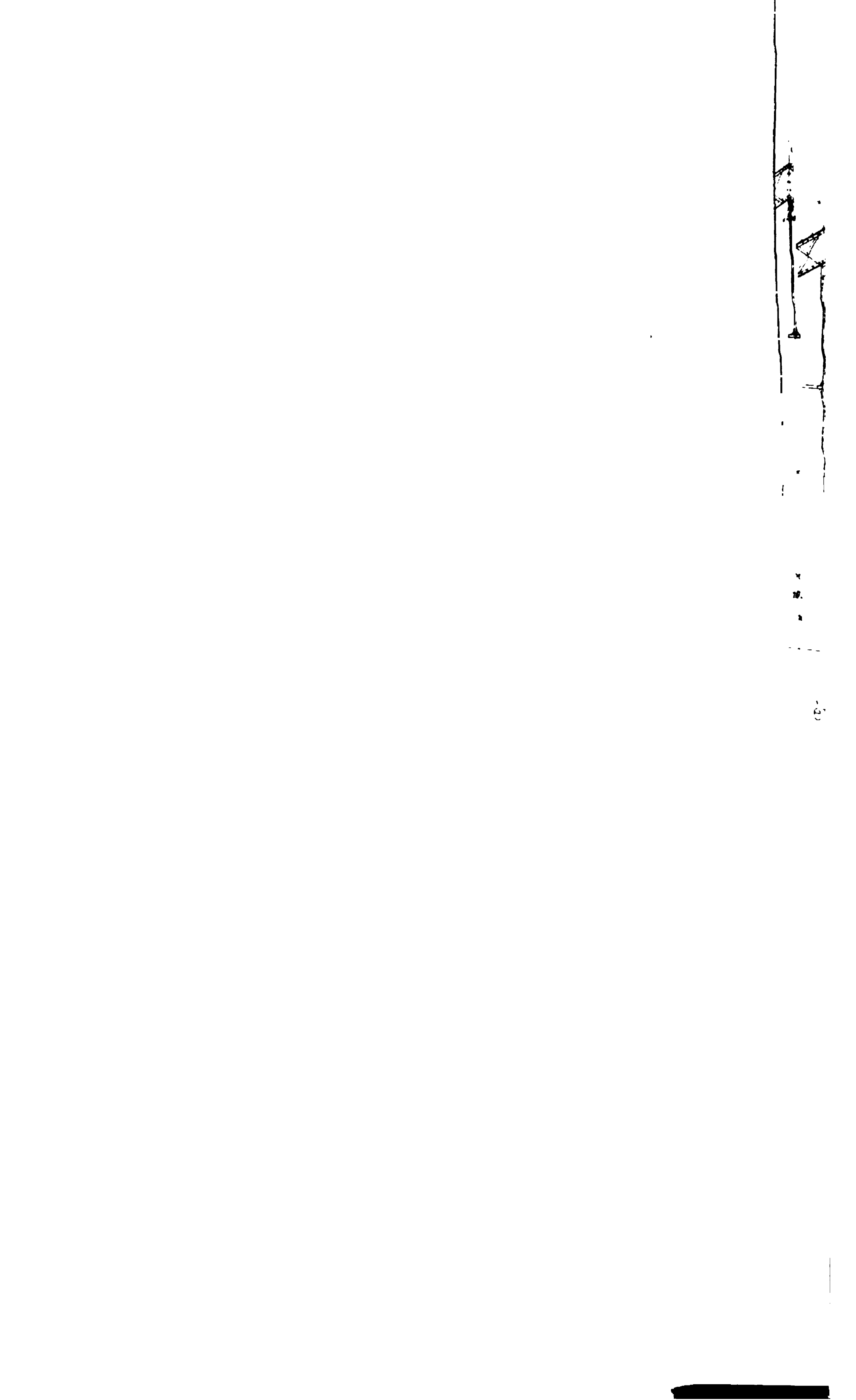
Groupe de Hanovre. — Machines à bobiner.

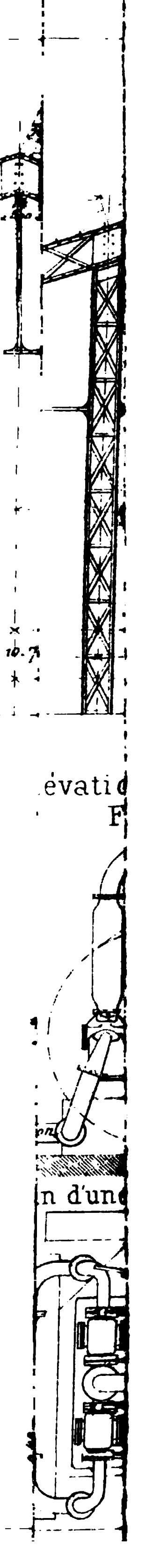
Association des chemins de fer. — Sur l'unification du temps.

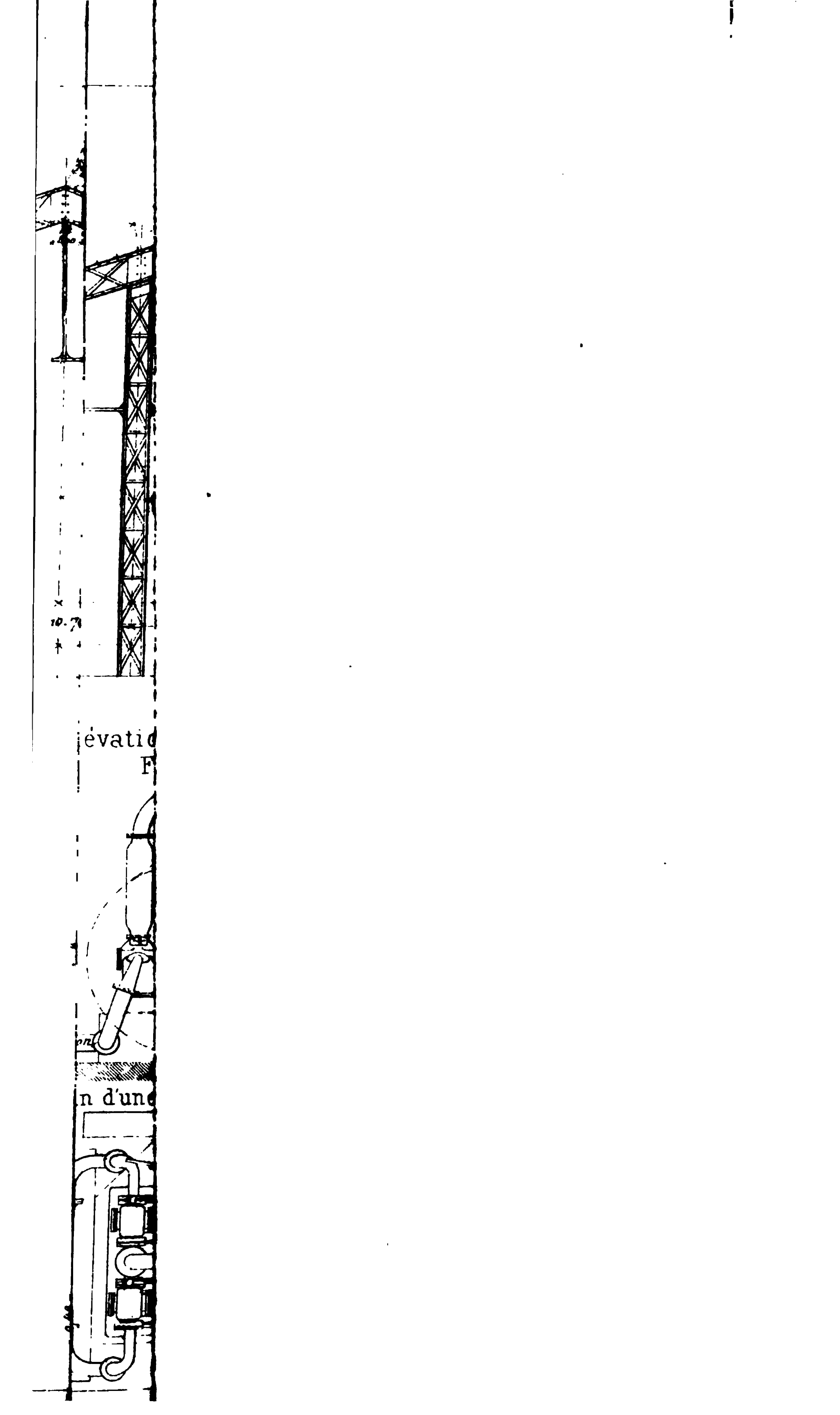
Bibliographie. — Recherches sur l'origine de la géométrie descriptive, par F. Tilser.

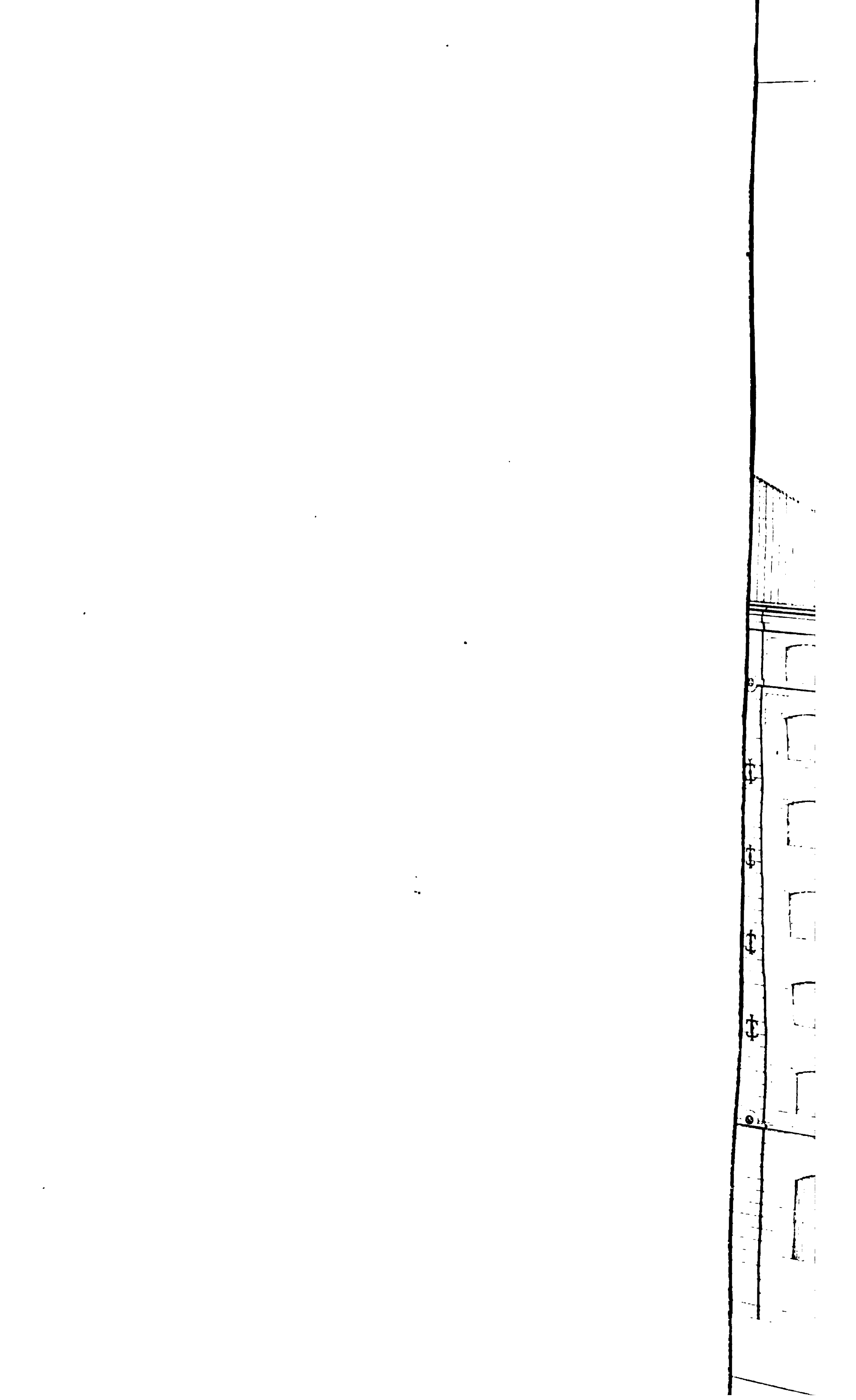
PARIS — IMP. E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

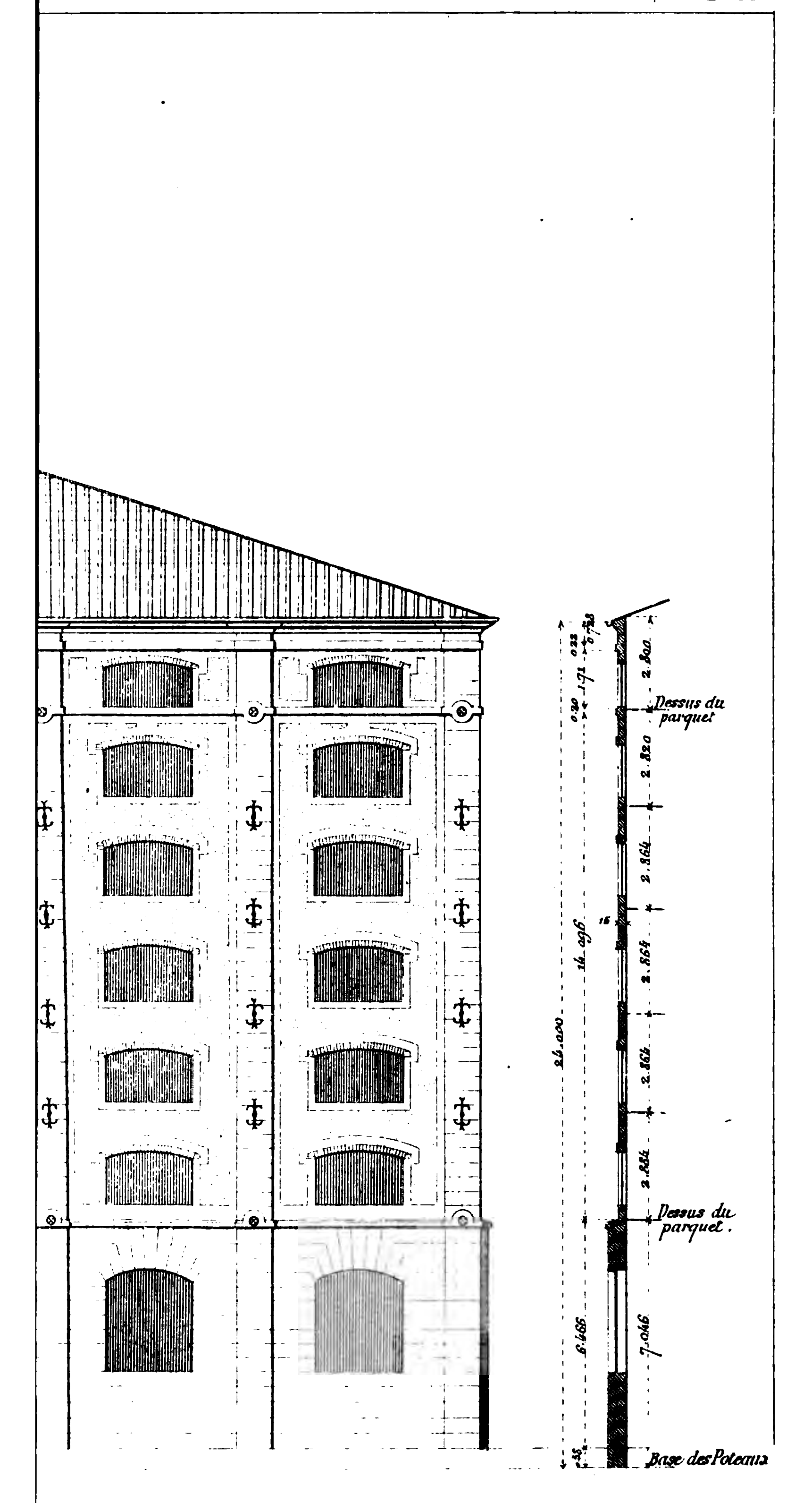
Fig. 18.



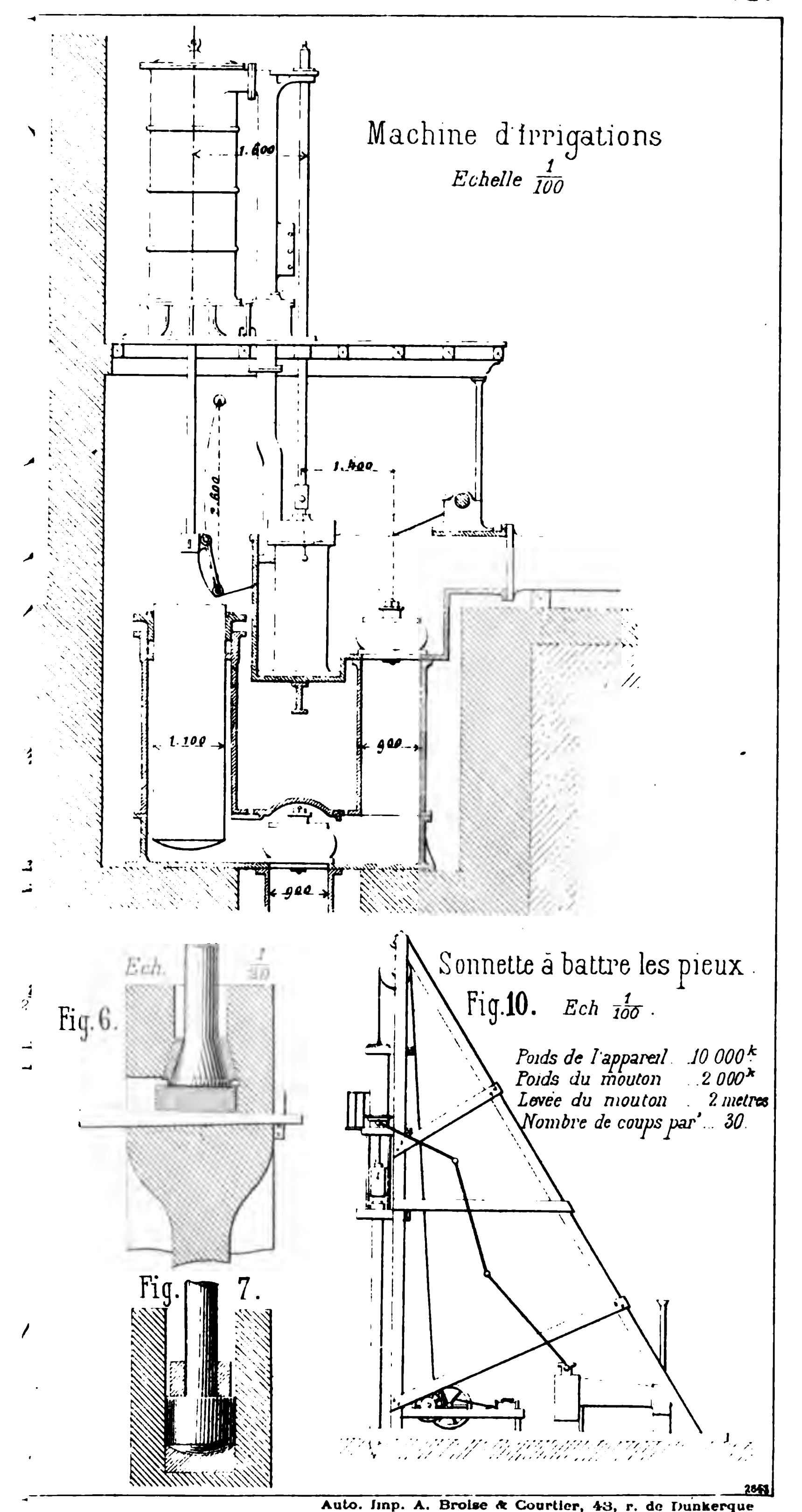

10.7
évati
F
n d'un


10.7
évati
n d'un

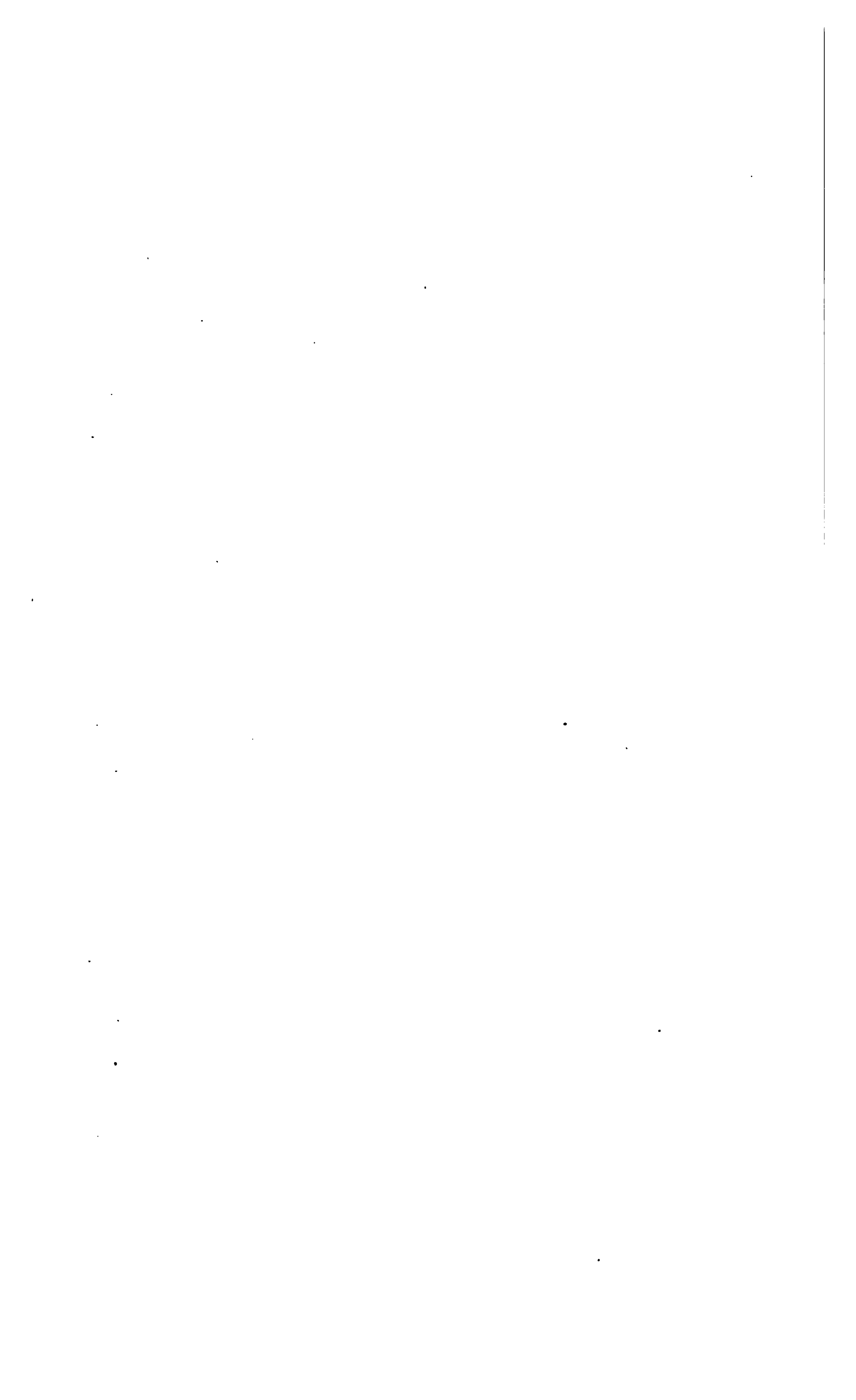




Auto. Imp. A. Broise & Courtier, 43, r. de Dunkerqu



Auto. Imp. A. Broise & Courtier, 43, r. de Dunkerque



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SEPTEMBRE 1884

N° 9

Pendant le mois de septembre la Société a reçu :

De M. Purper, un exemplaire de sa notice intitulée *Météorologie nouvelle avec les huit vents simultanés.*

De M. Casalonga, membre de la Société, un exemplaire de la *Nouvelle loi anglaise sur les patentes appliquée le 1er janvier 1884.*

De M. Franz Kreuter, ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée *Separat-Abdruck aus der Zeitschrift des Deutschen und Œsterreichischen Alpen-Vereins.*

De M. Bougarel, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur l'*Assainissement de la ville de Paris.*

De M. Ceresole, administrateur délégué de la Compagnie des chemins de fer de la Suisse-Occidentale et du Simplon, un exemplaire de l'*Étude géologique sur le nouveau projet de tunnel coudé traversant le massif du Simplon.*

De M. Félix Brabant, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire sur les *Variations atmosphériques et la ventilation des mines à grisou.*

De M. Angely, membre de la Société, un exemplaire de son étude sur un *Chemin de fer à voie suspendue pour service métropolitain.*

De M. Albert Gendebien, ingénieur, deux exemplaires de sa brochure sur les *Théories des ventilateurs à force centrifuge des mines*.

De M. Fernand Maurice, un exemplaire de sa brochure intitulée l'*Outillage maritime de la France, Rouen et la Seine.*

De M. Moisy, un exemplaire de sa brochure sur les *Lavoirs de Paris.*

De M. Salmoiraghi, ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée *Aperçu sur les nouveaux tachéomètres* dits *les Cleps.*

De M. Giuseppe Chisi, un exemplaire de sa brochure sur un *Nouveau moteur.*

De M. de Lamblardie, ingénieur, un exemplaire de son mémoire sur les *Côtes de la haute Normandie.*

De M. Jacquand, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur la *Réglementation du travail dans les établissements industriels.*

De M. Lamont Young, un exemplaire de son ouvrage intitulé *Relazione sul Progetto di una Ferrovia Metropolitana e Campi Flegrei per la citta di Napoli.*

RÉCEPTION

DES

INGÉNIEURS BELGES ET HOLLANDAIS

PAR

LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

(AOUT 1884)

L'année dernière, un certain nombre d'ingénieurs civils français fit une tournée fort intéressante en Belgique et en Hollande, et reçut, de la part des ingénieurs de ces deux pays, un accueil absolument cordial. Les plus éminents parmi les chefs des principaux services se firent les guides de leurs confrères étrangers et multiplièrent les prévenances pour leur montrer, dans les meilleures conditions, les travaux, les installations, les outillages remarquables de la Belgique et de la Hollande. Les ingénieurs civils de France avaient donc contracté une dette de reconnaissance et, sans prétendre s'en acquitter, ils ont voulu prouver, cette année, à leurs voisins qu'ils souhaitaient continuer ces relations confraternelles.

Le programme arrêté par la Commission de la Société, sous la présidence de M. Martin, assisté de M. Tresca, président honoraire, a été ponctuellement exécuté [1]. Ce résultat est dû, en majeure partie, au dévouement de notre secrétaire-archiviste, M. Husquin de Rhéville secondé par son fils ; aucun incident fâcheux, aucun nuage n'a troublé les cinq journées consacrées aux visites que nous allons rappeler.

1. La Commission était composée comme suit :
MM. Martin, président ;
Tresca, président honoraire ;
Gottschalk, Jordan, Marché, Émile Trélat, anciens présidents ; A. de Comberousse, vice-président et Loustau, trésorier.

JOURNÉE DU LUNDI 11 AOUT.

Dès huit heures du matin, des breaks mis à la disposition des excursionnistes et des ingénieurs français désireux de se joindre à leurs collègues étrangers, transportèrent près de deux cents personnes dans les ateliers Bariquand et fils, qui se sont fait une spécialité de toutes les fabrications mécaniques exigeant une grande précision et de la construction des machines-outils nécessaires pour ce genre de travaux.

Les machines à coudre, les machines à broder, les pièces d'armes de toute nature, les compteurs à eau, etc..., sont produits mécaniquement avec une telle perfection, que toutes les pièces semblables peuvent se remplacer dans un même mécanisme sans qu'il soit besoin d'aucun ajustage à la main.

La méthode employée permet de faire par milliers, et avec la plus grande facilité, des pièces qui s'ajustent exactement dans des machines construites, il y dix ans, dans une machine à broder, par exemple, malgré la complication du mécanisme ; le bâtis même d'une machine quelconque peut être remplacé par un autre sans qu'il y ait le moindre dérangement dans le fonctionnement.

Pour arriver à ce degré de perfection, MM. Bariquand et fils se sont appliqués à remplacer, aussi complètement que possible, le travail à la main qui laisse la fabrication dépendant de l'habileté de l'ouvrier, par un travail mécanique absolument sûr, qui donne toujours le même résultat, quelle que soit la main qui le conduise. Souvent même des femmes, avec des outils bien réglés, sont employées pour la production de travaux délicats qu'elles exécutent avec une grande perfection. Le résultat de cette étude a donc été la suppression presque totale de la lime et de l'ajusteur, remplacés très avantageusement par la fraise et la machine à fraiser. L'exécution de pièces mécaniques exactement semblables. dites interchangeables, dépend de la perfection des outils et

des instruments de mesure employés par le constructeur. Dans les machines utilisées par MM. Bariquand et fils et qui sont étudiées et construites par eux, toutes les parties sont réglables au centième de millimètre, et tous les mouvements, dont l'usure est à craindre, sont en acier trempé et rectifié, après la trempe, avec possibilité de supprimer toujours les jeux qui pourraient se produire. Nous citerons parmi les outils remarquables que nous avons vu fonctionner, les machines à fraiser de toutes sortes, les tours universels et à revolver, les machines à rectifier les pièces trempées, les machines à percer, à aléser, à tarauder, etc...; toutes sont faites avec le plus grand soin et disposées de façon à arriver sûrement à un travail parfait.

La construction des instruments de mesure a été aussi l'objet de recherches attentives. Les pieds à coulisse et les palmers à friction sont construits avec une exactitude spéciale.

Le but poursuivi et atteint, a été d'unifier, dans tout l'atelier, les organes qui servent à faire un travail mesuré. Les vis des butées micrométriques, les vis de tour, les divisions à traits et à trous son l'objet de tels soins qu'elles peuvent donner des mesures exactes à un centième de millimètre près. Le problème d'obtenir des mesures justes et des vis métriques, a été résolu par l'emploi d'un instrument de précision que l'on peut appeler un micromètre étalon.

Deux loupes, munies de réticules en fils d'araignée, invariablement reliées à un coulisseau mobile, se meuvent le long d'une règle divisée de deux mètres, qui sert de point de départ à toutes les mesures. L'instrument même permet de trouver avec exactitude, à quelques millièmes de millimètre près, la courbe de correction des divisions de la règle, et par suite de toutes les mesures qui lui sont rapportées. L'instrument ainsi disposé donne le moyen non seulement d'unifier les mesures dans un atelier particulier, mais encore de rendre possible la construction d'un mécanisme quelconque en pièces interchangeables fournies par des ateliers séparés.

Avec des instruments de mesure aussi parfaits et les machines de précision dont nous avons parlé, il suffit de donner aux ouvriers le plan des pièces exactement coté dans tous les détails avec l'indication des moyens de fabrication, pour atteindre à une grande production de pièces identiques.

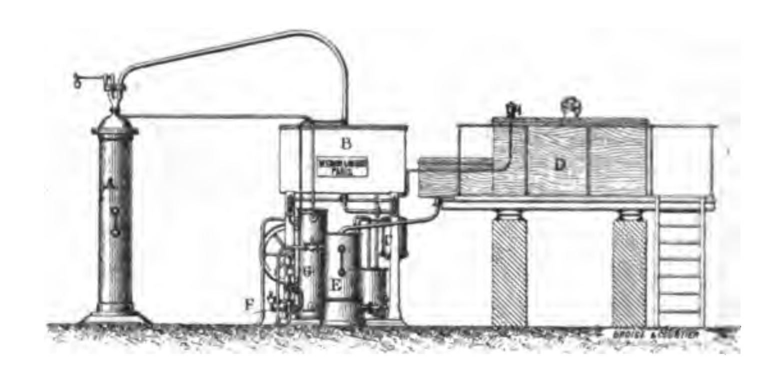
Cette méthode est d'autant plus précieuse, qu'elle met tout le travail entre les mains des ingénieurs et leur permet de faire exécuter, avec

une précision mathématique, les mécanismes délicats, sans qu'ils aient besoin, pour cela, d'ouvriers spéciaux toujours difficiles à conduire, produisant moins vite et moins bien que les machines.

L'usine Mignon et Rouart, avait également ouvert ses portes et l'attention des visiteurs fut particulièrement appelée sur la construction des appareils réfrigérants, des nouveau moteurs à gaz « Lenoir » et des moteurs « De Bisschop. »

Les appareils réfrigérants dits à affinité et inventés par M. F. Carré, il y a vingt-quatre ans, ont subi, depuis lors, des transformations importantes.

La figure ci-dessous représente un des modèles récents.



La solution aqueuse de gaz ammoniac est placée dans une chaudière résistante A. Sous l'influence de la chaleur, le gaz se dégage et se rend au liquéfacteur B refroidi par un courant d'eau.

La pression résultant de l'accumulation du gaz détermine la liquéfaction de l'ammoniaque qui est recueilli dans le récipient C d'abord et, de là, passe dans le congélateur D, où il se vaporise en produisant un froid intense.

Pour que l'évaporation et, par suite, le froid produit soient constants, il faut que la pression dans l'enceinte des congélateurs reste la même et faible. On arrive à ce résultat en mettant en contact les vapeurs ammoniacales, à mesure qu'elles se produisent, avec un liquide fixe. Ce liquide contenu dans le vase à absorption E n'est

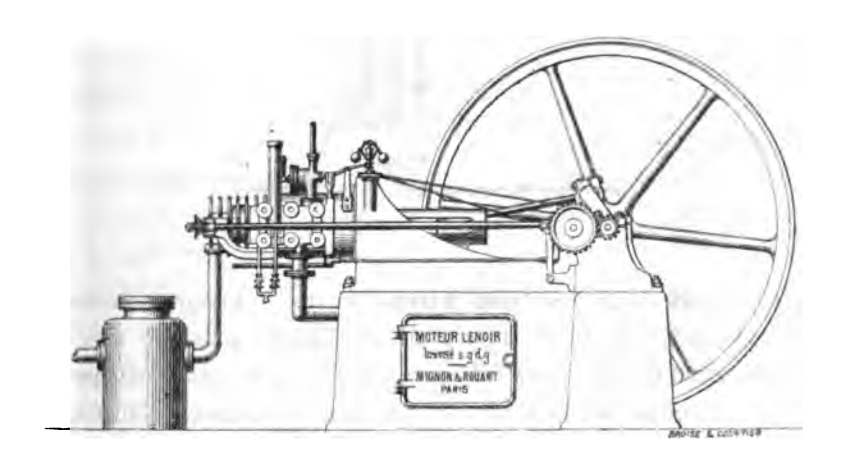
autre que la solution ammoniacale appauvrie par sa distillation dans la chaudière.

Le liquide pauvre s'enrichit dans le vase à absorption et est alors refoulé au haut de la chaudière par une pompe de circulation F.

Pour rendre le fonctionnement économique, le liquide pauvre et chaud qui part de la chaudière, échange sa température avec le liquide riche et froid du vase à absorption et ce, au moyen de l'échangeur G.

On a pu, avec des appareils de ce système et de dimensions suffisantes, produire jusqu'à 2100 calories de froid par kilogramme de charbon brûlé, soit environ 21 kilogrammes de glace par kilogramme de charbon.

Ces appareils sont très répandus et appliqués aux industries les plus variées.



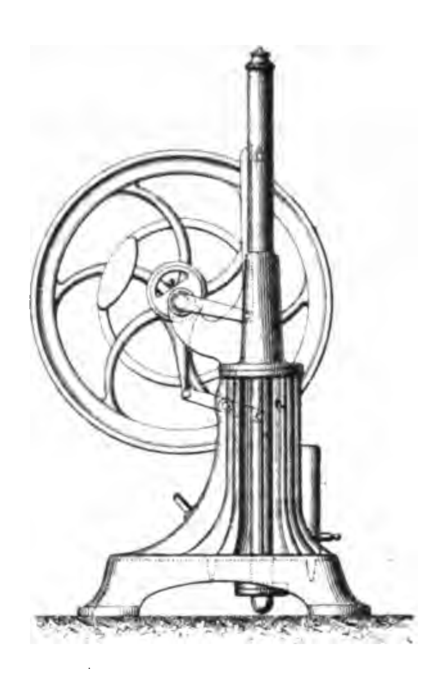
Dans le nouveau moteur à gaz de M. « Lenoir, » l'allumage du mélange explosible se fait à l'intérieur d'une chambre où le piston ne pénètre pas; la température peut donc s'élever dans cette capacité sans inconvénient.

Cette disposition assure une meilleure utilisation de la chaleur et a permis à M. Lenoir de faire un moteur de 1 cheval consommant 1 050 litres de gaz et un moteur de 2 chevaux consommant 1 650 litres à l'heure.

Un régulateur fort ingénieux assure à la machine une vitesse uniforme et proportionne la consommation du gaz au travail produit.



Les moteurs à gaz « De Bisschop » sont surtout destinés à la petite industrie.



Ces moteurs, dont les types varient entre 3 kilogrammètres et 1 cheval-vapeur, donnent un travail absolument pratique avec une consommation de 250 litres à l'heure ; ils n'exigent pas d'eau pour le service ; le refroidissement se fait par le rayonnement d'ailettes en saillie sur la surface extérieure du cylindre. — Le piston n'a pas besoin d'être graissé.

L'après-midi fut consacrée aux ateliers de la Compagnie d'Orléans et à l'usine Edison, à Ivry.

Dans les premiers, sous la conduite de l'ingénieur en chef du matériel et de la traction, M. Forquenot, les visiteurs purent apprécier l'éco-

nomie et la perfection du travail de construction des chaudières de locomotives, au moyen des appareils hydrauliques de Tweedell pour cisaillage, poinçonnage et rivetage ; ces appareils qui fonctionnent depuis dix ans, vont prochainement recevoir une nouvelle extension.

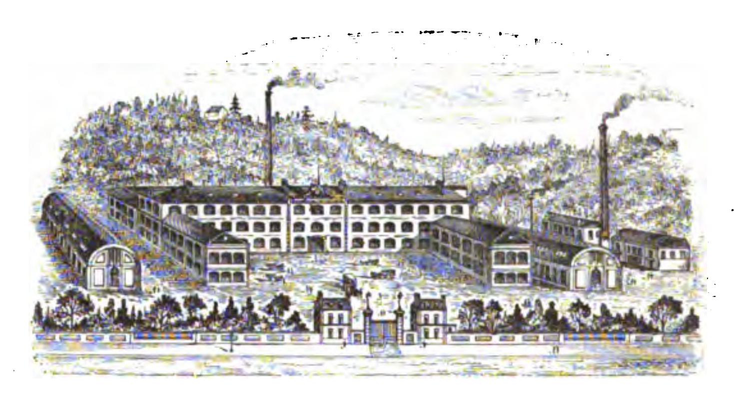
On fit ensuite sur des locomotives en feu, la démonstration de l'usage du foyer fumivore, système Tenbrinck, application commencée en 1862 et étendue successivement à toutes les locomotives à voyageurs et à marchandises du réseau d'Orléans ; cet appareil offre non seulement, l'avantage d'une parfaite fumivorité, avec les charbons les plus fumeux, mais encore une économie de 10 pour 100 sur la consommation en employant des menus et poussiers aux trains omnibus et aux trains de marchandises. Pour les trains express et rapides, le service en est assuré par l'emploi de moitié menus et moitié charbon gras ou briquettes.

Il a été aussi présenté aux visiteurs un exemple de l'application aux locomotives, du réchauffeur d'eau d'alimentation, système Lencauchez, appareil en service depuis plus de deux ans et qui permet d'alimenter la chaudière en marche avec de l'eau chaude à 95°, en moyenne.

Les résultats obtenus ne se traduisent pas seulement par une économie de combustible ou par un accroissement de la charge remorquée, mais encore par la condensation d'un cinquième du poids de la vapeur d'échappement qui retourne à la chaudière sous forme d'eau distillée, en économisant, par conséquent, l'eau du tender.

Les magasins d'approvisionnements du personnel, l'école-asile, situés sur le passage des visiteurs, ne laissèrent pas oublier que la Compagnie d'Orléans s'est toujours montrée soucieuse du bien-être de ses employés et ouvriers et a su allier, à la discipline indispensable dans une exploitation de cette importance, les préoccupations philanthropiques que les chefs d'industrie ne sont pas en droit de négliger.

L'usine Edison renferme deux fabrications distinctes : celle des lampes et celle des machines dynamo ; la première comprend les ateliers



Usine Édison à Ivry (Seine).

de verrerie où se façonnent les ampoules qui recevront le charbon, les ateliers de taille des bambous où sont préparées les fibres soumises ensuite à la carbonisation, la galvanoplastie où s'opère la soudure intime du charbon et du métal à l'aide d'un dépôt de cuivre, puis la salle du vide, où 500 pompes à mercure travaillent sans arrêt, et la salle des mesures, où les lampes sont successivement passées au photomètre et classées ; un certain nombre de lampes brûlant continuellement permettent de se rendre un compte exact de la durée de ces foyers.

La seconde fabrication se répartit entre les ateliers où se bobinent les armatures, les ateliers d'appareillage qui livrent les lustres, appliques, commutateurs et tous les accessoires nécessaires à l'installation de l'éclairage, les ateliers d'ajustage avec un outillage perfectionné de fraiseuses, tours, revolvers, poinçonneuses, etc., travaillant les différentes matières, dont la plus remarquable est le papier comprimé en plateaux (produit américain en grand usage).

Enfin, une machine de 1200 lampes était actionnée par un moteur à vapeur, à 350 tours, construit entièrement dans les ateliers de l'usine Edison.

M. Picou, ingénieur directeur, a fait les honneurs de cet important établissement avec une courtoisie dont chacun de nous lui sait gré.

La première journée était remplie, mais l'on avait eu à peine le temps de faire connaissance. Un banquet de 250 couverts dressés dans la salle des fêtes de l'hôtel continental, splendidement décorée, éclairée à la lumière électrique, permit de se présenter les uns aux autres. Le président de la Société des Ingénieurs civils souhaita la bienvenue à tous ses confrères étrangers. M. Trasenster, président de la Société des Ingénieurs sortis de l'école de Liège, puis M. Clermont, président des Ingénieurs sortis de l'école de Gand et M. Dumont, président de la Société des Ingénieurs sortis de l'école de Louvain répondirent successivement au toast de M. Martin en invitant leurs hôtes à venir, aussi nombreux que possible, leur rendre une prochaine visite, à l'occasion de l'Exposition d'Anvers.



La plupart des ingénieurs hollandais avaient été retenus dans leur pays par une assemblée générale de l'institut Royal. Ceux qui avaient pu venir, chargèrent l'un d'eux, M. Post, d'exprimer leurs sympathies

pour la France et M. Tresca termina par un toast à l'union « internationale » des Ingénieurs.

Ci-après les paroles prononcées et les toast portés :

M. Louis Martin, président. — Messieurs, M. Trasenster, président de la Société des Ingénieurs sortis de l'École de Liége, a été indisposé en arrivant à Paris ; il va aussi bien que possible, mais il vous demande de vouloir bien l'excuser s'il n'est pas présent au commencement du banquet : il viendra à la fin.

Vers le milieu du banquet, M. Trasenster prend place ; toute la salle se lève et éclate en applaudissements.

M. Trasenster. — Messieurs, j'ai mille remerciements à vous faire de votre gracieux accueil et mille regrets à vous témoigner d'avoir été si tardif à me rendre à votre aimable invitation. Vous me pardonnez, j'espère, car il n'y a pas eu intention de ma part.
(Bravo ! Bravo !)

Toast de M. Martin, président.

Messieurs,

L'année dernière, un groupe important des membres de notre Société s'est rendu à Amsterdam pour visiter l'Exposition maritime et fluviale ouverte dans cette ville.

Nos collègues ont reçu, pendant ce voyage, tant en Belgique qu'en Hollande, l'accueil le plus empressé, le plus cordial de la part de MM. les Ingénieurs de ces deux pays, et Anvers, Amsterdam, Bruxelles, Seraing, sont des étapes dont ils ont gardé un ineffaçable souvenir.

Il devait en résulter, de part et d'autre, le désir de se rencontrer de nouveau, aussi M. Marché, notre président d'alors, renouvelant les ouvertures déjà faites à ce sujet par MM. Tresca et Gottschalk, s'exprimait-il comme suit en remerciant nos hôtes, au moment du départ.

« Au revoir, chez nous, car nous comptons bien vous recevoir chez « nous. »

Cet appel a été entendu, et nous avons aujourd'hui le grand honneur de réunir ici nombre de nos collègues belges et hollandais auxquels nous tendons une main amicale et auxquels nous disons : Merci ! (Applaudissements).

Merci, Messieurs, pour le souvenir que vous avez gardé de nous.

Merci, pour la marque de bienveillance affectueuse que vous nous donnez. (Bravo.)

Cette réunion sera suivie d'autres, nous y comptons, et ainsi se nouera le lien d'estime et d'amitié qui doit unir des hommes voués à la pratique de l'art de l'ingénieur auquel l'humanité est redevable de ses plus grands progrès.

C'est le plus cher de nos vœux.

Messieurs,

Je bois à nos collègues étrangers, à notre bonne confraternité.

Je bois encore à MM. les Présidents des diverses sociétés d'ingénieurs représentées ici et dont le concours nous a été si précieux pour la réussite de la réunion de ce jour.

(Applaudissements prolongés.)

Toast de M. Trasenster.

Messieurs, je regrette de n'être pas en état de répondre comme je le voudrais, au toast si bienveillant qui vient d'être porté par votre honorable président, et d'exprimer tous nos sentiments de gratitude pour le grand honneur que vous faites aux ingénieurs sortis de l'École de Liège.

Nous avons, et j'ai personnellement une première dette de reconnaissance envers vous; vous avez bien voulu nommer membre honoraire de la Société des Ingénieurs civils le président de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège; c'est le plus grand honneur qui pût m'être fait. (Vifs applaudissements.)

Vous avez bien voulu nous inviter à cette belle fête, et à une série

d'intéressantes excursions; vous avez vu avec quel empressement mes camarades ont répondu à votre invitation.

C'est presque une invasion qu'ils sont venus faire parmi vous.

Messieurs, cette invasion s'explique par une idée que nous partageons tous en Belgique : c'est que l'art de l'ingénieur est essentiellement cosmopolite. (Très bien ! très bien !)

L'ingénieur, par ses travaux, supprime les distances et annule les frontières. (Bravo !)

Les ingénieurs ont ce caractère spécial que, parmi eux, règne la plus grande et la plus heureuse confraternité.

Il y a de l'émulation parmi eux : il n'y a pas de rivalité ! (Bravo ! bravo ! Applaudissements enthousiastes.)

Eh bien, Messieurs, nous sommes venus avec empressement ici, parce que cette réunion est un pas de plus dans cette voie des assemblées internationales, qui seront si utiles au progrès de l'art de l'ingénieur, et, par conséquent au progrès de l'humanité tout entière. (Salve d'applaudissements.)

Nous avons encore, Messieurs, à nous acquitter envers vous d'une autre dette de gratitude : nous n'oublions pas que beaucoup de nos maîtres sont parmi vous. Parmi les ouvrages devenus classiques en Belgique, et qui traitent des sciences appliquées et des sciences préparatoires aux sciences techniques, la plupart sont rédigés par des Ingénieurs et des savants français (Très bien !)

Nous désirons vivement, Messieurs, que nos relations se consolident de plus en plus ; il y a huit jours, notre Association était réunie en Assemblée générale, à Bruxelles : à l'unanimité, par acclamation, elle a décidé qu'elle vous prierait de lui faire l'honneur de vous rendre en Belgique, l'année prochaine. Elle espère que vous viendrez très nombreux. (Oui ! oui ! tous ! tous !) Le centre de nos réunions sera Liège ; il y a là des établissements industriels de tous genres, comme vous le savez ; il y a des industries très variées, et il y a des ouvrages d'art. Mais, ce n'est pas le seul motif qui nous ait déterminés à vous prier de venir l'année prochaine en Belgique : il y aura, à Anvers, une Exposition internationale, et le gouvernement français lui donne le plus large concours. Je ne doute donc pas que vos industriels n'y soient largement représentés, et ce sera pour vous, je pense, un sujet de visite qui vous intéressera.

Il y a une autre circonstance : à Anvers, les travaux du port seront

terminés ; on va organiser des fêtes pour leur inauguration. Vous savez, Messieurs, que ces grands travaux ont été faits par des entrepreneurs français, qui ont une réputation européenne. (Vifs applaudissements.) Ce sera pour nous une vive satisfaction de vous y voir.

Eh bien, Messieurs, nous ferons en sorte que les fêtes, qui auront lieu à cette occasion, coïncident avec votre visite. Naturellement, pour tous les arrangements, pour la fixation de l'époque de votre visite d'abord, et ensuite, pour tous les détails d'organisation, nous nous concerterons avec votre Comité, avec votre Bureau. Vous aurez donc à décider à quelle époque vous préférez venir, quels sont les établissements que vous désirez visiter, les localités où vous désirez vous arrêter : nous vous servirons de pilotes avec le plus grand bonheur ; nous serons très honorés de vous recevoir, et nos compatriotes seront tous très heureux de montrer leurs établissements à des personnes aussi compétentes que vous.

Je bois donc, Messieurs, à votre prochaine visite, qui, comme vous voulez bien le dire, sera aussi nombreuse que possible ! (Oui ! oui ! tous ! tous ! bravo ! Salve d'applaudissements.)

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, je donne la parole à M. Clermont, Président de la Société des Ingénieurs sortis de l'École de Gand.

Toast de M. Clermont.

Messieurs, permettez-moi, à mon tour, en ma qualité de Président de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, de répondre quelques mots aux paroles si bienveillantes qu'a prononcées votre honorable Président, M. Martin. Quand vous avez fait, l'année dernière, votre excursion en Belgique et en Hollande, nous avons été dans l'impossibilité, à notre grand regret, de vous faire une réception assez complète, une réception assez satisfaisante, dans ce sens qu'elle n'a pas été telle que celle que nous voulons faire à ceux que nous aimons. (Bravo ! bravo ! Applaudissements). La raison en est bien simple, c'est que nous n'avions pas été prévenus suffisamment à temps de votre passage, et, étant dispersés comme le sont les membres de notre Société, en Belgique et à l'étranger, nous n'avons pu nous concerter pour

prendre les mesures nécessaires pour vous recevoir d'une façon digne de vous. (Très bien ! très bien !) Je ne puis donc que m'associer aux paroles que vient de prononcer le Président de la Société des Ingénieurs sortis de l'École de Liège, et vous engager à revenir en Belgique le plus tôt possible.

Comme vous êtes invités à venir visiter Liège et Anvers, j'espère qu'à cette occasion, vous voudrez bien passer à l'ouest de la Belgique, et visiter Bruxelles et Gand, pour nous permettre de vous recevoir, à notre tour, et de vous montrer ce qui est utile à voir aux ingénieurs. (Applaudissements.)

Messieurs, si, d'une part, M. Marché, votre Président de l'année dernière et les membres de votre Société qui l'accompagnaient ont peut-être pu constater ce défaut chez nous, qui consiste à ne pas être assez rapide pour organiser une réception (Non, non !), d'autre part, vous avez pu constater chez nous une grande bonne volonté et le désir très vif de nouer, avec votre Société, des relations fraternelles et fréquentes. (Vifs applaudissements.) Eh ! Messieurs, en pouvait-il être autrement ? N'avez-vous pas, entre autres nombreuses qualités, ces trois qualités supérieures : la bienveillance, la générosité et le talent ?

La bienveillance ! Messieurs, notre présence ici, l'accueil cordial et grandiose que vous nous faites en sont la meilleure preuve, et il n'est pas nécessaire que j'apporte à l'appui de ma thèse d'autre démonstration. (Très bien ! très bien !)

Votre générosité ! Pour le peu que l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Gand a pu faire pour vous, l'année dernière, vous nous avez fait le grand honneur de me nommer membre honoraire de votre Société ! (Bravo ! — Applaudissements.) Dans ma carrière déjà longue, le titre de membre honoraire de la Société des Ingénieurs civils était le plus grand honneur que je pouvais ambitionner : vous me l'avez décerné, ce titre, je vous en suis infiniment reconnaissant, j'en apprécie la haute valeur, et j'espère vous prouver un jour que vous n'aurez pas eu affaire à un ingrat. (Bravo ! bravo ! Applaudissements prolongés.)

Pour ce qui concerne votre talent, n'avez-vous pas, parmi vous des hommes, beaucoup d'hommes dont la réputation n'est plus à faire, dont la renommée va au delà des mers ; votre talent n'éclate-t-il pas chaque jour et à chaque pas ? et, récemment encore, à propos de vos intéressantes discussions sur le grand projet de notre époque : le percement du tunel sous la Manche ?

Il est donc bien légitime, bien naturel, bien loyal, le grand empressement que nous mettons à saisir la main que vous nous tendez aujourd'hui avec tant de confraternité ! (Bravo ! très bien ! très bien !)

Je bois à la prospérité sans cesse croissante de la Société des Ingénieurs civils : je bois à la santé de son Président actuel, M. Martin et des anciens présidents MM. Tresca, Gottschalk et Marché ! (Bravo ! bravo ! Salve d'applaudissements.)

M. le Président. Messieurs je donne la parole à M. Dumont, Président de la Société des Ingénieurs sortis de l'école de Louvain. (Applaudissements.)

Toast de M. Dumont.

Messieurs, au nom des ingénieurs de Louvain, ici présents ; au nom de ceux que les exigences du service et le devoir ont privés du plaisir d'assister à cette fraternelle réunion, je remercie Monsieur votre Président de ses bienveillantes paroles ; à lui aussi et aux membres de la Société des Ingénieurs civils toute notre gratitude pour leur bienveillante réception. (Très bien ! très bien !)

Messieurs, notre Association est beaucoup trop jeune pour avoir osé espérer l'honorable distinction que vous avez bien voulu lui accorder ; nous devons être modestes, à cause de notre jeunesse, et, dans la circonstance présente, je me bornerai à dire que notre Association est justement fière de la sympathie que vous avez bien voulu lui accorder, ainsi que des encouragements de votre précieuse amitié. (Bravo ! Applaudissements.)

Mon vœu le plus cher est que notre visite à Paris soit l'origine de fréquentes relations entre nous. Mes collègues de Gand et de Liège viennent de vous inviter à venir en Belgique, l'année prochaine ; eh bien, Messieurs, mettez le comble à votre courtoisie, aujourd'hui, en nous donnant l'occasion et la satisfaction de payer la dette que nous avons contractée. Messieurs les Ingénieurs de Gand et Messieurs les Ingénieurs de Liège vous proposent, comme buts d'excursion, Liège, Gand, Bruxelles et Anvers : nous autres, nous pouvons vous offrir Louvain et Charleroi. (Bravo ! bravo !) Ce sera pour nous, Messieurs,

un grand honneur de vous recevoir, au nom de l'Association des Ingénieurs de Louvain, je vous prie instamment d'accepter notre invitation, (Oui ! oui ! Bravo !) et à mon tour j'ai l'honneur, de boire à votre santé. (Bravo ! bravo ! Applaudissements unanimes et prolongés.)

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, je donne la parole à M. Brichaut.

Toast de M. Brichaut.

Messieurs, nous avons le bonheur de posséder parmi nous un homme qui nous a rendu les plus grands services en Hollande : c'est M. Post. (Très bien ! très bien !) Il personnifie tout notre voyage dans ce pays, et je vous demande de boire à sa santé. (Bravo ! Applaudissements.)

Toast de M. Post.

Si je me permets de prendre la parole, c'est que je connais toute votre indulgence. Je sais que les Français ont la parfaite courtoisie d'entendre maltraiter leur belle langue française par un étranger qui s'exprime si mal.

Mes compatriotes, les Hollandais, m'ont chargé de cette mission, et je suis heureux d'être auprès de vous l'interprète de leurs sentiments sympathiques.

Messieurs, je crois ne pouvoir mieux vous exprimer ces sentiments de reconnaissance et de sympathie, et nos remerciements pour la grande réception que vous nous faites aujourd'hui, en portant un toast à la santé de celui qui a mené si vaillamment l'excursion en Hollande, l'année dernière, votre président honoraire, l'illustre savant M. Henri Tresca. (Bravo ! Bravo ! Vifs applaudissements.)

Toast de M. Tresca.

Au moment où M. Tresca se lève, la salle éclate en applaudissements.

Messieurs,

Nos sociétés, de nationalités différentes, ne se sont jusqu'ici rencontrées qu'au hasard de certains événements. Au congrès du Génie civil, en 1878, un certain nombre d'ingénieurs belges ont bien voulu prendre part à quelques-unes de nos discussions. L'an dernier, à l'occasion du meeting des ingénieurs mécaniciens anglais, à Liège, plusieurs d'entre nous apprirent à connaître votre mode charmant d'hospitalité, déjà proverbial; un peu plus tard notre Société fut reçue, pour son propre compte à Anvers, à Amsterdam, à Rotterdam, à Seraing et à Bruxelles, et ces premiers rapports aidant nous avons pensé que notre tour était venu de vous recevoir à Paris de notre mieux. (Bravo! Bravo!)

Mais, à Paris, nous n'avons pas comme vous l'habitude de ces grandes réunions amicales. Vous voyez que nous ne trouvons pas, même ici, une place suffisante. Nous ne possédons pas ces industries mères qui sont si largement installées chez vous et qui occupent toute une contrée; nous ne connaissons pas ces horizons maritimes qui forment, pour ainsi dire, les chantiers continus que vous nous avez fait admirer.

D'autre part nos sociétés scientifiques ne sont pas autant sous l'œil des autorités municipales; les relations ne sont pas les mêmes, et tout en ayant le désir de satisfaire à votre légitime curiosité, nous avons dû nous borner, votre séjour étant trop restreint, à vous présenter un programme très simple, et privé de toute présentation officielle.

Cependant nous avons trouvé partout la plus grande bienveillance: les établissements de l'État, les directions des travaux publics, les industries particulières vous ouvrent leurs portes, et nous n'avons qu'une seule chose à craindre, ce sont les reproches de ceux auxquels nous ne nous sommes pas adressés en votre nom. Nous leur dirons que nous avons dû nous borner à réaliser les visites que vous nous aviez indiquées d'avance, et que notre intervention s'est bornée à la réalisation de votre programme.

Nous tenons, Messieurs, comme premier devoir à remplir, à remercier ensemble les administrateurs et les directeurs de tous les établissements qu'il vous sera permis de visiter.

L'Hôtel de Ville et l'Opéra vous seront montrés dans toutes leurs installations techniques et artistiques. Nous retrouverons à Gennevilliers, et malheureusement aussi dans le fleuve, le produit de ces

égouts, dont la bonne tenue sera assurément, pour vous, un véritable sujet d'étonnement.

Parmi les directeurs de nos grands établissements, nous avons l'honneur de posséder M. Laussedat, qui veut bien nous donner une fête d'adieu, et qui, pour vous engager à ne pas nous quitter trop tôt, vous fera visiter vendredi les richesses de notre Conservatoire des arts et métiers.

Les savantes explications que nous attendons de M. Bertrand, directeur du musée de Saint-Germain, donneront à notre visite un caractère tout spécial ; cette excursion sera l'occasion de voir en pleine Seine les beaux ouvrages exécutés par M. Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées que quelques-uns d'entre vous ont déjà connu, comme vice-président de notre congrès du Génie civil en 1878.

En l'absence de M. Camus, notre collègue, M. Arson représente ici la Compagnie parisienne du gaz, et il se réserve de vous donner sur place toutes les explications que vous pourrez désirer sur la splendide usine de Clichy.

Nous sommes en temps de vacances, et plusieurs de nos invités n'ont pu ce soir se joindre à nous pour vous souhaiter la bienvenue. Parmi nos anciens présidents, M. Émile Trélat garde la chambre ; M. Marché a quitté Paris aujourd'hui même, par ordre de la Faculté ; M. de Comberousse, l'un de nos vice-présidents, est frappé, à l'heure qu'il est, d'une façon grave, dans ses affections de famille ; M. Cauvet, directeur de l'École centrale des arts et manufactures, nous a particulièrement chargé de vous exprimer ses regrets de ne pouvoir être avec nous lorsque nous visiterons, vendredi prochain, la nouvelle installation qui doit être le berceau de nombreux ingénieurs civils.

Qu'ils reçoivent tous, présents ou absents, l'expression de nos remerciements et de nos affectueux hommages. (Bravo !)

Ce premier devoir accompli, je me permets de vous demander, mes chers collègues, si ces visites en commun, si ces réunions trop fugitives, si ces excursions rapides constituent bien, dans un moment de pleine satisfaction, tout l'intérêt de notre rapprochement. Je réponds sans hésiter par la négative et j'estime que nous avons tout autre chose à faire, dans une direction plus sérieuse et plus utile. (Très bien !)

L'institution des Ingénieurs civils de Londres a dernièrement demandé et obtenu, de toutes parts, des renseignements pour déterminer les types des pièces de métal qui doivent servir aux essais de

résistance, et elle est arrivée à une solution que les ingénieurs américains étudient aujourd'hui dans le même but.

Les ingénieurs allemands viennent de proposer un système de notations algébriques, qui serait commun à toutes leurs écoles polytechniques.

Voilà que le *Franklin Institute*, nous demande maintenant, tout ce qui a été écrit sur l'électricité, ce domaine nouveau de notre activité professionnelle.

Voici une autre question qui vient s'y joindre : M. le colonel Laussedat me remet à l'instant une dépêche, annonçant que MM. les officiers de Meudon ont réussi, aujourd'hui même, à diriger leur ballon en liberté. Nous aurons bientôt des ingénieurs en navigation aérienne.

Les mesures générales de grande voirie et de distribution d'eau, si intimement liées aux conditions de la santé publique, sont dès aujourd'hui de notre domaine, ainsi que tant d'autres, non moins importantes.

D'un autre côté l'unité métrique, qui est pour nous tous un fait accompli, n'est pas encore partout légale, et je doute fort des avantages de la singulière uniformité de l'heure, telle qu'elle est en ce moment discutée.

Quelle source nouvelle de progrès serait ouverte si nous pouvions nous occuper ensemble de ces questions d'intérêt général? Le rôle de l'ingénieur consiste surtout à appliquer un sens droit, formé par des études suffisantes, à tous les genres de travaux utiles. Ne pourrions-nous consacrer une partie de nos efforts communs à la solution des questions techniques les plus universelles?

Messieurs, je vous invite donc à vous associer à la pensée de l'union de plus en plus intime qui doit se former entre toutes nos sociétés d'ingénieurs ; j'appelle toute votre attention sur les bons effets à attendre, pour l'avenir, de leurs communications mutuelles, et c'est ainsi que je porte un toast au développement de leur prospérité. (Bravo ! salve d'applaudissements.)

M. le Président. — Messieurs, avant de lever la séance, je remercie Messieurs les Présidents des Sociétés d'Ingénieurs Belges de l'aimable invitation qu'ils nous ont faite, et je l'accepte en votre nom. (Bravo ! Bravo ! Applaudissements enthousiastes.)

A partir de ce moment et pendant tout le restant de la soirée un

orchestre placé dans la cour d'honneur de l'hôtel transformée en jardin, exécuta les morceaux de son répertoire.

JOURNÉE DU MARDI 12 AOUT.

La visite du matin était pour l'Opéra. Malheureusement les ordres donnés par M. l'architecte Garnier, absent, avaient été mal compris ou mal exécutés et cette visite n'a pas eu, au moins pour une partie des visiteurs, l'intérêt qu'elle aurait dû avoir. Nous devons à l'obligeance de M. Garnier des renseignements qui sont consignés dans une note de M. Auguste Moreau. (Voir cette note, page 234.)

La première étape de l'après-midi était la presqu'île de Gennevilliers. M. Durand-Claye, ingénieur en chef des ponts et chaussées, avait bien voulu guider l'expédition et nous montrer, en détail, les pompes élévatoires de Clichy, installées pour envoyer l'eau d'égout dans la plaine de Gennevilliers, puis dans la presqu'île d'Achères.

M. Durand-Claye mit sous les yeux de son auditoire, un croquis de l'ancienne Lutèce, où apparaît nettement le ruisseau de Ménilmontant qui était, pour ainsi dire, le seul exutoire de toute la rive droite de la Seine.

Les premiers égouts de l'ancien Paris, n'étaient pas autre chose que des ruisseaux qui coulaient d'abord à ciel ouvert, et qui furent peu à peu recouverts en maçonnerie. Turgot ordonna un travail de ce genre pour le ruisseau de Ménilmontant qui, passant par les rues Richer et de Provence, se dirigeait vers la Seine qu'il atteignait entre les ponts de l'Alma et des Invalides. Tous les égouts aboutissaient primitivement au fleuve, comme le font encore les égouts de la Cité et de l'île Saint-Louis.

C'est à M. Belgrand que l'on doit la création des collecteurs, c'est-à-dire des égouts interceptant l'écoulement en rivière des autres égouts et rassemblant leurs eaux pour les envoyer à Clichy.

Aujourd'hui, sauf le versant nord de Montmartre et de Ménilmontant, qui est desservi par un collecteur spécial, toutes les eaux d'égout

de Paris sont dirigées sur le collecteur de Clichy. Les eaux des arrondissements de la rive gauche sont rassemblées par un collecteur qui, à son départ, recueille les eaux de la Bièvre et vient rejoindre la rive droite par un siphon placé, sous la Seine, au pont de l'Alma. Ce collecteur rejoint ensuite à Levallois-Perret le collecteur de la rive droite, qui traverse en entier les quartiers de ce versant, de l'hôtel de ville au boulevard Malesherbes, en suivant les quais, puis en traversant la place de la Concorde et en gagnant la Madeleine.

Le réseau des égouts de Paris est incontestablement un des premiers de l'Europe. Sa longueur est de près de 900 kilomètres. La capacité des galeries est calculée de façon à leur permettre de débiter promptement les eaux provenant des plus grandes averses, qui donnent jusqu'à 2,000 mètres cubes en une seconde pour tout Paris.

M. Belgrand a déterminé les dimensions des galeries de manière à pouvoir suspendre à leurs voûtes les conduites d'eau pure nécessaires aux usages domestiques et aux services publics. On a pu y installer également les fils télégraphiques, les tubes pneumatiques et le réseau téléphonique.

Ce regretté et habile ingénieur avait aussi prévu dans ses calculs que les égouts pourraient recevoir un jour la totalité des matières de vidange de Paris.

M. Durand-Claye présenta ensuite des dessins donnant tous les différents types d'égouts adoptés pour la canalisation, depuis les grands collecteurs ayant $5^{m},60$ de largeur jusqu'aux petits égouts offrant encore $1^{m},30$ de largeur et $2^{m},30$ de hauteur sous clef, ce qui donne un passage plus que suffisant pour les ouvriers.

Dans beaucoup de galeries la pente est assez grande pour imprimer à l'eau une vitesse convenable, soit $0^{m},70$ à la seconde. Mais pour arriver à maintenir une circulation constante dans tous les égouts, même à faible pente, il a fallu rechercher les moyens mécaniques suffisants pour assurer l'écoulement.

C'est encore à M. Belgrand que nous devons le système actuel de curage. Les collecteurs se divisent en collecteurs à bateaux et en collecteurs à rails.

Dans les premiers, un bateau muni d'une vanne, dans les seconds, un wagon également muni d'une vanne, opère automatiquement le curage des grandes galeries.

Dans les petits égouts, le curage se fait à bras d'homme au moyen de rabots.

Les siphons du pont de l'Alma sont maintenus en bon état de fonctionnement au moyen de chasses périodiques opérées par le passage d'une boule en bois de diamètre un peu inférieur à celui du tube. M. Durand-Claye fit fonctionner devant ses auditeurs un ingénieux modèle qui met en évidence le mécanisme de la manœuvre de la boule.

Passant ensuite à la question des vidanges, M. Durand-Claye, en quelques mots, rappela les différents systèmes en usage actuellement à Paris.

Après avoir montré les inconvénients de la fosse fixe et de son évent, il fit voir l'imperfection de la tinette-filtre, système bâtard de l'écoulement complet à l'égout.

L'ensemble des vidanges de Paris est, du reste, peu de chose en volume :

250 mètres cubes de solides pour vingt-quatre heures et 2,000 mètres cubes de liquides à noyer dans les 300,000 mètres cubes que roulent déjà les collecteurs.

L'envoi direct de ce cube minime aux égouts convenablement curés, s'impose, d'après M. Durand-Claye, comme une solution simple et rationnelle.

C'est le seul système qui fasse disparaître immédiatement toute substance usée, toute déjection, tout détritus. Avec lui, aucun mécanisme, aucun organe délicat, aucune fosse fixe. Il ne faut que de l'eau et la quantité distribuée dès aujourd'hui à Paris (400,000 mètres cubes) chaque jour, si elle est bien employée, est plus que suffisante pour le bon fonctionnement du seul système rationnel d'assainissement des grandes cités modernes.

L'application de l'envoi direct à l'égout à l'intérieur des maisons est très simple. A chaque orifice recevant des matières infectes, vidanges, eaux ménagères. etc., on place un siphon hydraulique ; tout sort rapidement et immédiatement de la maison. Avant d'arriver à l'égout public, un deuxième siphon le sépare de la maison et évite tout retour d'odeur à l'intérieur. Cette occlusion hydraulique, automatique, existe à chaque pierre d'évier, à chaque water-closet, à chaque salle de bains. Les tuyaux de chute sont prolongés jusqu'à l'égout public, en passant par le branchement particulier fermé à l'aplomb du mur

pignon de l'égout. Chaque propriétaire aura ainsi, sous la voie publique, une cave supplémentaire où se trouveront les organes essentiels de la maison, la distribution d'eau pure et l'évacuation des eaux impures et des vidanges.

M. Durand-Claye présenta un type de maison avec canalisation directe à l'égout.

Quant à l'égout public, le tout à l'égout y est applicable. Ce système peut fonctionner dans tous les égouts en bon état, où la pente est suffisante et où des chasses intermittentes peuvent entretenir le radier en état de propreté. Si, par hasard, on a à l'installer dans un vieil égout à parois crevassées, on y posera alors une conduite fermée en poterie de grès qui sera prolongée jusqu'à un égout convenablement disposé.

Comme on l'a vu, la majeure partie des eaux d'égout de Paris arrive au débouché d'Asnières.

Or que doit-on faire de ces masses d'eaux impures?

On ne peut plus longtemps les laisser s'écouler dans le fleuve. La Seine à Clichy est dans un état horrible; des masses de graisse flottent à la surface de l'eau; des bulles de gaz laissent dégager des odeurs infectes; des bancs de vase, malgré des dragages fréquents et coûteux, se forment et émergent souvent. Cet état de choses a motivé et motive journellement les plaintes des riverains de la Seine qui se trouve gravement polluée depuis Asnières jusqu'à Mantes.

Trois systèmes se présentent :

1° l'envoi à la mer;

2° l'épuration par les procédés chimiques;

3° — par le sol.

1° L'envoi à la mer qui, pour beaucoup de personnes, parait être le système le plus simple est, en réalité, tout à fait impraticable. La pente est insuffisante pour entraîner rapidement les eaux d'égout qui, arrivées jusqu'à la mer, trouveraient le jeu des marées et viendraient infecter toutes les stations balnéaires de nos côtes.

2° Les procédés chimiques *clarifient* mais *n'épurent pas*, c'est-à-dire que, tout en étant claires, les eaux d'égout contiennent encore des principes nuisibles. De plus les dépôts produits par l'opération de la clarification sont très difficiles à manier, à extraire et peu transportables; leur valeur comme engrais ne présente aucun avantage et leur dessiccation offre de graves dangers au point de vue hygiénique.

3° Il ne reste plus qu'à s'adresser à la nature, au sol même. La source la plus limpide n'est pas autre chose que l'eau produite par la condensation des nuages; après avoir balayé toutes les impuretés de l'atmosphère, cette eau lave souvent la surface de la terre et souvent les lieux infects où elle tombe. Mais elle se purifie en passant à travers les couches du sol et va rejoindre la nappe des eaux souterraines.

Pour expliquer la propriété purifiante du sol, il faut remarquer qu'un centimètre cube de terre renferme des milliers de petits animalcules qui ont la propriété d'oxyder les matières organiques, ce qui a été démontré par les intéressantes expériences de M. Schlœsing, directeur de la manufacture des tabacs. Un tube de deux mètres de sable calciné au rouge que traverse de l'eau chargée de matières organiques, transforme ces matières en azotates utilisables par les plantes et qui ne sont plus offensifs. Si vous versez du chloroforme dans le tube, les animalcules sont rendus inertes et cessent leur action; la nitrification s'arrête et, après un lavage suffisant ayant entraîné le chloroforme, l'action des microbes reparaît.

La nature elle-même épure donc et les plantes utilisent les produits de l'épuration. La démonstration en a été faite en grand dans la plaine de Gennevilliers, où, depuis 1869, la ville de Paris déverse une partie de ses eaux d'égout, environ le tiers du volume total.

De prime abord, la population s'est montrée hostile à ces essais de culture et d'irrigation. Mais elle n'a pas tardé à déposer toute crainte en voyant les résultats obtenus sans danger pour la santé publique. Les terrains qui se louaient 150 francs l'hectare, se louent aujourd'hui 450 grâce à l'amendement.

Il y a actuellement plus de 570 hectares préparés pour recevoir les eaux d'égout. L'érection d'une fontaine monumentale a eu lieu récemment à Gennevilliers, en témoignage de la bonne entente qui unit maintenant la commune et la ville.

M. Durand-Claye a fait passer ensuite sous nos yeux plusieurs tableaux représentant l'usine de Clichy et les divers modes de culture usités à Gennevilliers.

Il nous a entretenus enfin du projet d'extension des irrigations vers les fermes d'Achères. L'État concéderait à la ville environ 1,200 hectares composés de deux fermes dites de la Garenne et de Fromainville, des tirés anciens et nouveaux et de quelques hectares de forêt. Sur toute cette surface, on ne voit pas d'autres maisons que celles des

fermes mentionnées. C'est un terrain sablonneux, très propre à l'épuration des eaux et de production fort restreinte. M. le ministre de l'agriculture se montre aujourd'hui assez disposé à céder ces terrains à la ville.

M. Durand-Claye termina sa conférence en la résumant ainsi : « Ce que nous demandons, c'est la circulation, et pour la circulation, le vrai véhicule, c'est l'eau. »

Les applaudissements prouvèrent à l'éminent ingénieur, que si tous les assistants ne partageaient pas sa conviction dans les avantages du *tout à l'égout*, ils n'en appréciaient pas moins la valeur de ses arguments et des résultats déjà obtenus. Une course à travers la presqu'île de Gennevilliers servit de démonstration ; les plus incrédules ne purent s'empêcher de goûter l'eau qui, limoneuse et nauséabonde à la surface du sol, s'échappe limpide sur un lit de gravier, après s'être filtrée dans le banc de sable qui constitue la presqu'île.

Au retour, visite, sous la direction de M. Arson et de ses chefs de service MM. Gigot, Euchène et Schmitz, de la nouvelle usine à gaz de Clichy, où l'ordre et la méthode ne le cèdent point à la grandeur des installations. La plupart des Parisiens ont vu l'élégante estacade qui sert au déchargement rapide des péniches amarrées au quai de l'usine et qui supporte une voie ferrée pour le transport de la houille à l'intérieur de l'établissement. On comprendra l'utilité de pareils moyens en songeant que la halle, où s'effectue la distillation des charbons, renferme quinze cents cornues capables d'alimenter sept gazomètres de trente mille mètres cubes de capacité, chacun.

Les salles d'épuration, de distribution, etc., les appareils concasseurs et cribleurs de coke répondent nécessairement à l'importance de la fabrication. Les dégagements, les voies d'accès, les différents niveaux du sol ont été étudiés et utilisés pour simplifier les services, réduire la main-d'œuvre au strict nécessaire et apporter dans tous les détails l'économie d'une fabrication modèle.

Après un lunch, offert au nom de la Compagnie par le directeur, notre Président remercie M. le Directeur de la Compagnie et ses Chefs de service au nom de notre Société, pour la toute gracieuse réception qui nous est faite.

Nous nous dirigeâmes ensuite vers Saint-Denis pour voir encore l'importante usine Christofle, dont l'un des chefs associés, M. Bouilhet, ingénieur et ancien élève de l'École centrale, assisté des deux ingénieurs de l'usine, MM. Herpin et Brecy, accueillit les visiteurs avec une inépuisable obligeance, leur permettant jusqu'à la fin du jour, de suivre les opérations de la métallurgie du nickel, depuis le traitement du minerai, soit par voie sèche, soit par voie humide, jusqu'à la confection mécanique des couverts, dans lesquels le nickel entre pour une large part.

Cette usine fut créée par MM. Christofle, en 1877, à l'époque où la hausse exagérée du nickel avait fait rechercher les moyens de s'affranchir du monopole qui appartenait complètement aux Allemands et aux Anglais.

La découverte du minerai de Calédonie, entrevue par M. Garnier, dix ans auparavant, mais restée sans utilisation, a singulièrement aidé à cette création. MM. Christofle, qu'un de leurs anciens ingénieurs, établi en Australie, avait mis au courant des récentes analyses du professeur Liverdsige (à Sidney) sur des échantillons de minerais expédiés de Nouvelle-Calédonie, envoyèrent, avec quelques amis qui avaient des relations avec la colonie, des fonds pour aider à l'exploitation des mines nouvellement découvertes; le premier chargement de minerai frété pour leur compte, ne fut pas payé moins de 9 fr. 50 le kilogramme de nickel contenu dans du minerai à 10 pour 100 de richesse en moyenne.

Ce prix exorbitant, qui s'expliquait par la hausse du nickel coté jusqu'à 30 francs le kilogramme, ne tarda pas à baisser pour les envois suivants. Aujourd'hui le nickel pur, après traitement et affinage, ne coûte plus que 7 à 8 francs le kilogramme.

Affinage du Nickel. — L'affinage du nickel, tel qu'il est pratiqué par MM. Christofle dans leur usine de Saint-Denis, comporte deux procédés distincts : la voie humide et la voie sèche.

Lorsque les minerais contiennent des métaux autres que le nickel et le fer, tels que le cobalt ou le cuivre, la voie humide est toujours nécessaire. Au contraire, on affine par voie sèche les minerais qui ne contiennent que du nickel et du fer, comme les hydro-silicates de nickel

et de magnésie de la Nouvelle-Calédonie. Ces minerais forment, du reste, la majeure partie des matières traitées dans l'usine de MM. Christofle.

Quel que soit le minerai, la première opération consiste dans une fusion au cubilot ou four à manche, avec des matières calcaires et sulfureuses, de façon à obtenir une matte renfermant tous les métaux.

Dans le cas des minerais de Nouvelle-Calédonie, on emploie avec avantage le gypse qui se trouve en abondance aux environs de Paris. La chaux forme, avec le silicate de magnésie, une scorie (silicate double de chaux et de magnésie) et le soufre réunit les métaux sous forme d'une matte (sulfure de nickel et de fer).

L'usine de MM. Christofle possède deux cubilots de 6 mètres de hauteur; avec chacun de ces fours, ou peut fondre 8 à 10 tonnes de minerai par 24 heures, et comme chaque campagne dure environ 8 jours, on peut traiter de 50 à 60 tonnes de minerai correspondant à environ 10 tonnes de mattes.

Cette matte contient:

60 à 65 pour 100 de nickel
20 à 15 pour 100 de fer.

Pour l'affiner par voie sèche, il suffit de la refondre dans un four à réverbère avec addition de chaux et de silice, on scorifie le fer sous forme d'un silicate de chaux et de fer, et le nickel se concentre dans la matte. Au moyen de deux fusions successives on arrive à scorifier tout le fer et l'on obtient un sulfure de nickel pur.

L'usine possède deux fours à réverbère du système Bicheroux, pouvant produire à l'état de sulfure pur, de 15 à 20,000 kilogrammes de nickel par mois.

Il n'y a plus qu'à réduire ce sulfure en poudre fine et à le griller à mort pour obtenir l'oxyde de nickel.

Cet oxyde est lavé, malaxé avec de la farine, découpé en cubes, séché, puis réduit au moyen du charbon de bois. L'opération se fait dans des creusets chauffés dans un four spécial et après la réduction de l'oxyde, le métal conserve la forme de cubes.

Lorsque la matte contient du cuivre ou d'autres métaux que le fer, on emploie comme nous l'avons dit la voie humide pour obtenir du nickel pur. Ce procédé est plus long, plus coûteux et nécessite un matériel plus considérable.

Il faut d'abord dissoudre la matte au moyen de l'acide chlorhydrique, et, pour cette opération, on ne peut employer que des vases en grès chauffés au bain-marie. Le cuivre est ensuite précipité au moyen de l'hydrogène sulfuré, le fer au moyen du carbonate de chaux, et après filtration, on obtient un liquide contenant tout le nickel à l'état de chlorure. Ce chlorure est distribué dans de grandes cuves de 25,000 litres, dans lesquelles on fait arriver un lait de chaux qui précipite le nickel à l'état d'oxyde vert. Pour cette opération, il faut avoir de grands volumes à sa disposition, car l'oxyde de nickel est un précipité très volumineux qui demande un certain temps pour se déposer; après la décantation du liquide clair qui n'est autre que du chlorure de calcium, on distribue l'oxyde dans une série de filtres-presses au moyen d'un monte-jus à air comprimé. L'oxyde est ensuite séché, calciné dans un four, lavé, malaxé et réduit comme l'oxyde de voie sèche; seulement, au lieu de le découper en cubes, on se contente de le concasser en grains.

Le nickel obtenu, soit par voie humide, soit par voie sèche est refondu au creuset et coulé en grenailles. C'est sous cette forme qu'il est livré au commerce, soit à l'état pur, soit allié avec 50 pour 100 de cuivre et c'est ce dernier alliage qui convient surtout pour la fabrication du maillechort (cuivre, zinc et nickel).

A l'origine, la production de l'usine était limitée aux besoins de la consommation personnelle de MM. Christofle, pour la fabrication de métal blanc, de couverts et d'orfèvrerie. Depuis plusieurs années l'usine livre au commerce le nickel qu'elle produit sous forme d'alliages (maillechort), en planches laminées et en fils. Elle est organisée pour produire annuellement 100,000 kilogrammes de nickel par l'un ou l'autre procédé et pourrait porter cette production au double, s'il était nécessaire.

Fonderie, laminage de maillechort et fabrication des couverts. — A la suite de l'affinage du nickel, MM. Christofle ont établi, dans une autre partie de l'usine, une fabrique de métal blanc, où les alliages de cuivre, zinc et nickel sont transformés, soit en couverts, soit en pièces d'orfèvrerie.

Cette fabrique comprend des ateliers de fonderie, de laminage, d'estampage et de polissage.

A la fonderie s'obtiennent des alliages contenant 15, 20 et 25

pour 100 de nickel. Ces alliages sont coulés en lingots et laminés ensuite à l'épaisseur voulue. Pour les pièces d'orfèvrerie, on prépare des planches minces qui sont découpées à la demande. Pour la fabrication des couverts, on emploie, au contraire, des bandes d'une certaine épaisseur, dans lesquelles on découpe des flans variant suivant les pièces à fabriquer. Ces flans sont passés sous des machines spéciales et, au moyen de matrices gravées et d'outils en acier, reçoivent la forme et la dimension voulues. Les pièces ébarbées, limées et polies sont expédiées à l'usine de Paris où se font l'argenture et la dorure.

Toute cette fabrication exige un grand matériel, la main-d'œuvre étant supprimée presque complètement. Ainsi, pour produire les deux pièces d'un couvert ordinaire, il faut 8 matrices gravées et 6 outils en acier; chaque modèle contient 30 à 40 pièces d'usage et de forme différents, et la maison possède plus de 30 modèles distincts.

Tous les outils nécessaires à la fabrication des couverts sont faits dans l'établissement, toutes les matrices sont forgées, gravées et trempées par des ouvriers spéciaux, et la valeur de tout cet outillage est d'environ 600,000 francs.

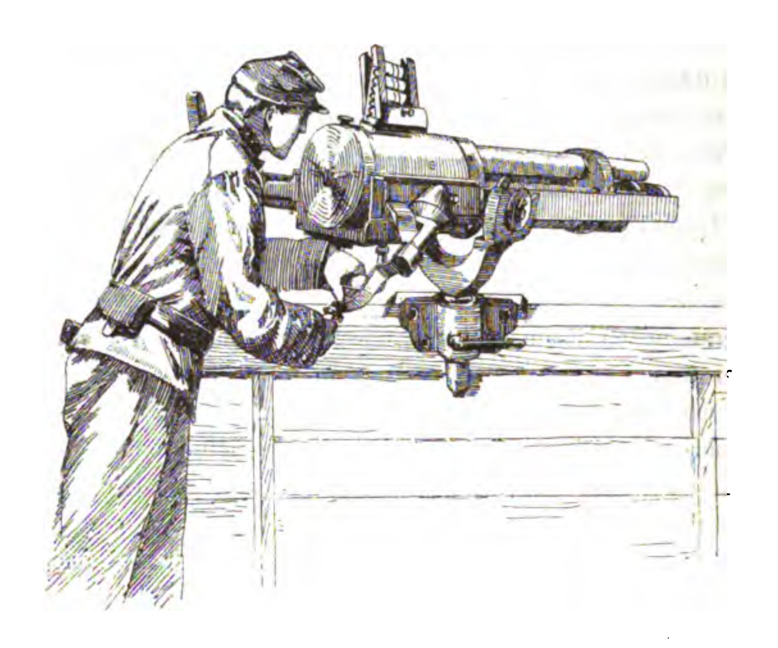
Terminons en disant que pour une fabrication de 250 douzaines de couverts par jour, qui est la production minima de l'usine, le stock métal n'est pas moins de 100,000 kilogrammes.

L'outillage est largement installé et la production peut être portée, du jour au lendemain, à 400 douzaines de couverts par jour, si le besoin de la vente l'exige.

La force motrice est de 180 chevaux fournis par des machines à condensation du type Farcot.

La Société des forges et ateliers de Saint-Denis, avait non moins gracieusement ouvert ses portes, mais le défaut de temps contraignit à abréger cette intéressante visite. La société des Forges et ateliers de Saint-Denis est spécialement outillée pour la construction du matériel fixe et roulant des chemins de fer et travaux publics, ainsi que pour la fabrication du fer. Mille chevaux de force divisés en huit moteurs actionnent l'ensemble des chantiers occupant une superficie de 170,000 mètres dont 75,000 mètres couverts.

Enfin, la fabrique d'armes de M. Hotchkiss, qui expédie aujourd'hui des canons revolvers dans tous les pays, nous réservait la surprise d'une expérience de tir avec ses nouveaux canons de rempart. Dans ces pièces, le pas hélicoïdal, suivant lequel sont projetées les cartouches chargées de balles, diffère pour chaque canon, de sorte que les coups successifs, au lieu de suivre la même trajectoire, balayent des points différents de l'espace.



Deux servants, l'un pour charger, l'autre pour tourner la manivelle, arrivent à tirer soixante-dix coups par minute; dans cet intervalle, le canon lance environ 1500 projectiles et couvre toute la section d'un fossé de rempart. Ajoutons que longtemps tributaire de l'Angleterre pour les aciers, la maison Hotchkiss trouve aujourd'hui au Creusot le métal nécessaire à sa fabrication.

JOURNÉE DU MERCREDI 13 AOUT.

Deux *bateaux-hirondelles* avaient été frétés par la Société des Ingénieurs civils pour conduire ses hôtes jusqu'au Pecq. Cent-soixante personnes prirent place sur ces bateaux, qui partirent du port Saint-Nicolas à huit heures et demie du matin.

M. Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées, avait autorisé la visite des travaux du barrage de Suresnes, de l'installation hydraulique de l'écluse de Bougival, et nous attendait avec son personnel au débarquement à Suresnes.

Il ne serait point possible de reproduire ici tous les détails intéressants notés au fur et à mesure des explications fournies par M. Boulé [1]. Les précautions minutieuses pour assurer la durée et la conservation de l'œuvre, les mesures de prévision multipliées en cas de réparations ultérieures, tout semble avoir été calculé par l'ingénieur pour se mettre à l'abri des mécomptes. Nous remarquons en passant un bâtardeau très hardiment exécuté en amont, au moyen de panneaux de bois calfatés et simplement juxtaposés sur des fermes, à 45 degrés, supportées par le radier. Les intervalles des panneaux sont remplis d'étoupes et l'étanchéité est complète. Les Hollandais, si experts en travaux hydrauliques, ont paru frappés de la simplicité et de l'efficacité de ce bâtardeau.



Malgré la bonne marche des *hirondelles*, les sinuosités de la Seine

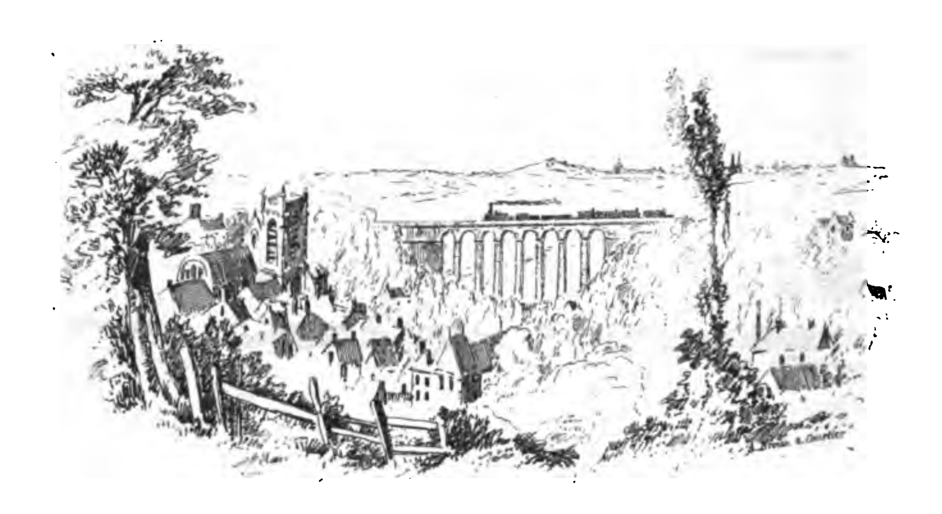
1. Nous devons à l'obligeance de M. Boulé une note détaillée, accompagnée d'une planche, sur ces intéressants travaux. (Voir cette note p. 246.)

allongent singulièrement le voyage et, de Suresnes à Bezons, les collines des deux rives sont trop éloignées pour distraire les yeux.

Un lunch de 80 couverts, servi sur chaque bateau par la maison Potel et Chabot, constitua un intermède fort apprécié des excursionnistes, que le grand air du matin avait mis en appétit, et se termina dans le voisinage des coteaux de Bougival. Là, nouveau débarquement pour assister à la fermeture et à l'ouverture rapides de l'écluse; le fonctionnement automatique des portes, comme la manœuvre des cabestans établis sur les berges, s'effectue à l'aide de la force hydraulique empruntée à la chute du barrage et emmagasinée dans un accumulateur.

Du Pecq à Saint-Germain, la côte fut bientôt franchie par les voyageurs, qui trouvèrent dans le directeur du musée, M. Bertrand, un guide expert à travers les collections préhistoriques. Les Ingénieurs groupés dans la cour du château constatèrent, à l'aide de la « baliste » antique, le chemin parcouru jusqu'au canon-revolver.

Après avoir eu le loisir d'admirer la remarquable restauration du château et la vue de la terrasse, les Ingénieurs que leurs occupations



n'avaient point obligés à rentrer à Paris, trouvèrent à la gare de Saint-

Germain un train spécial préparé par les soins de la « Compagnie internationale des wagons-lits ; » quatre-vingts personnes y prirent place et un dîner de quarante couverts fut offert par la même Compagnie dans ses *dining-cars.*

Le train mis à la disposition de la Société des Ingénieurs civils se composait de trois grandes voitures à bogies : un restaurant, un salon et une voiture-lits. Ces véhicules, dont la caisse mesure 14^{m} 120 de longueur, reposent sur deux trains articulés pour en permettre l'inscription facile dans les courbes du plus petit rayon. Une suspension multiple amortit les secousses et la caisse reste insensible aux divers mouvements, absorbés presque entièrement par le bogie.

Un essai d'éclairage électrique au moyen des accumulateurs Faure et Cie, a paru des plus satisfaisants.

La facilité avec laquelle toutes les lampes sont allumées instantanément offre un avantage sérieux sur l'emploi du gaz, spécialement au passage des tunnels.

Nous devons des remerciements à M. Georges Nagelmackers, directeur de la Société de la Compagnie internationale des wagons-lits, et à M. Albert Lechat, secrétaire général, qui ont bien voulu nous faire personnellement les honneurs d'un train de luxe.

JOURNÉE DU JEUDI 14 AOUT.

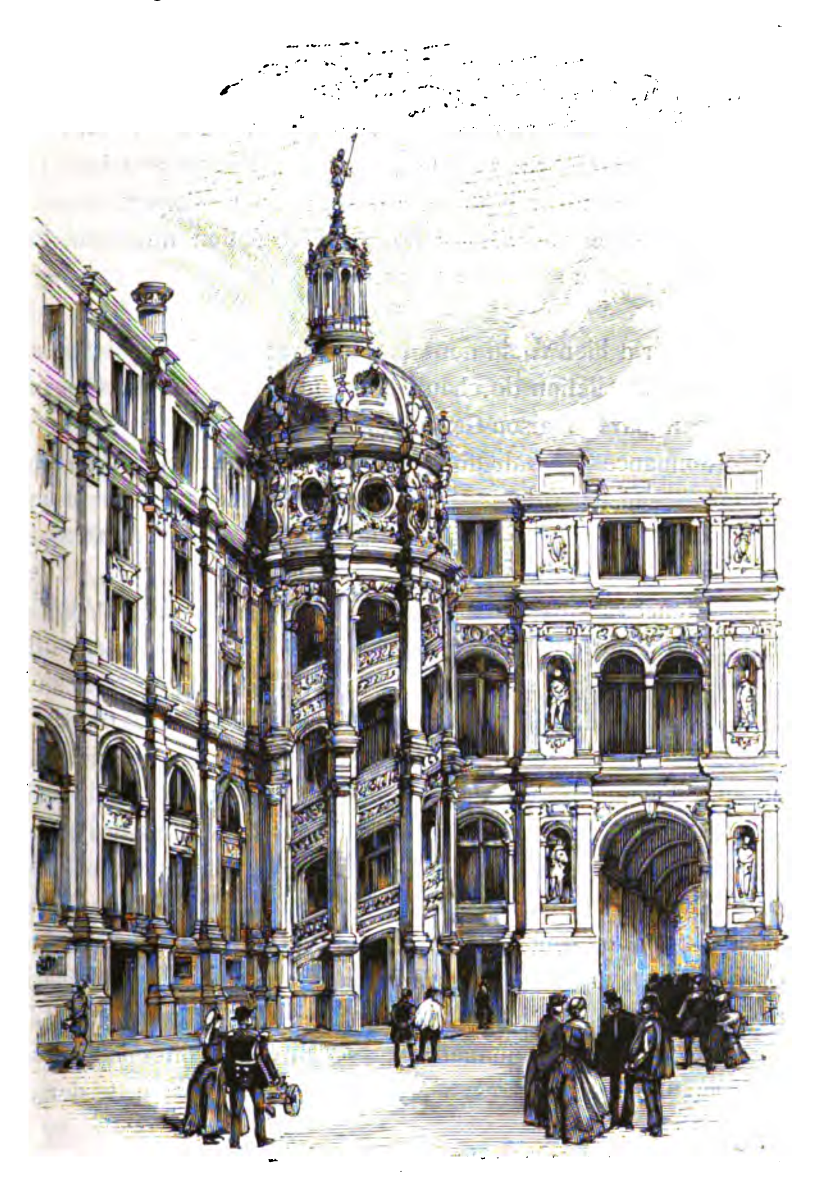
La première visite fut pour le nouvel Hôtel de ville de Paris, récemment achevé, et dont la réédification, due au concours des habiles architectes, MM. Ballu et de Perthes, était une des parties intéressantes du programme de nos excursions.

A l'heure fixée, les invités, avec MM. Tresca, Martin et Trasenster en tête, étaient reçus à l'entrée du monument par M. Huet, inspecteur général des ponts et chaussées, sous-directeur des travaux de Paris, accompagné de M. Couche, ingénieur en chef du service des

NOUVEL HOTEL DE VILLE DE PARIS.

Gravure extraite de l'*Histoire de France populaire* de Henri Martin.

eaux, de M. Formigé, architecte-inspecteur des travaux, de M. Blazy, architecte-inspecteur de l'entretien.



Nous parcourûmes successivement le grand vestibule d'entrée, où se trouvent inscrits les noms des premiers magistrats de la Cité depuis son origine, puis la cour d'honneur, au centre de l'édifice, où a été placé l'admirable groupe de Mercié, *Gloria victis*, les cours latérales, où se

font remarquer deux escaliers circulaires d'un grand effet, et la vaste salle Saint-Jean, destinée aux réunions de sociétés, concours, etc.

Au-dessous de cette salle se trouve la chambre des machines et chaudières affectées aux services du chauffage, de la ventilation et de l'éclairage électrique, dont il sera parlé plus loin.

Nous nous rendîmes ensuite, en passant près des ascenseurs Heurtebise et des bureaux du service financier, à l'étage principal où se trouvent réunis la magnifique salle des séances du Conseil municipal, les salles des Commissions, les salons de réception du préfet de la Seine et les grandes salles des Fêtes.

M. Herscher a bien voulu nous donner les explications suivantes sur l'importante installation de chauffage et de ventilation effectuée dans le monument par la maison Geneste, Herscher et Cie :

« L'ordonnance générale du travail exécuté, et aussi la belle salle de chaufferie à vapeur et de machines rappellent à ceux d'entre nous qui sont allés l'an dernier en Belgique, l'installation analogue du palais de justice de Bruxelles due aux mêmes constructeurs.

Les exigences à satisfaire à l'Hôtel de ville de Paris étaient des plus complexes. La chaleur à fournir se répartit entre onze étages différents, dont le plus bas (sous-sol) est à la cote 30, et le plus haut s'élève à la cote 64 avec des décrochements et des interruptions multipliés ; des arcades ou des salles décorées, dans les étages inférieurs, ne souffraient aucune tuyauterie apparente et pas davantage de gaines réservées dans les murs ; enfin, dans les étages supérieurs, des bureaux nombreux devaient être chauffés d'une manière indépendante.

D'autre part, on a cherché à disposer les appareils de chauffage de façon à ne pas dépendre du cloisonnement des pièces, cloisonnement qu'il est possible de faire varier sans entraîner de modifications dans les canalisations, ni dans la place des surfaces de chauffe. L'établissement, d'ailleurs rationnel à tous égards, desdites surfaces de chauffe au bas des fenêtres, a permis de répondre à cette dernière nécessité.

On conçoit que seule, la vapeur, avec sa souplesse et sa puissance, pouvait être employée dans l'espèce, pour le transport et la répartition de la chaleur. Les poêles et autres appareils de chauffage sont eux-mêmes à vapeur directe et, réglés à volonté séparément, se prêtent à toutes les variations désirables.

Sans dire ici toutes les raisons qui ont motivé le choix du système (à commencer par la sécurité au point de vue des incendies) et sans entrer dans le détail de l'installation, nous dirons que le chauffage général est à très faible pression, avec surfaces de chauffe placées directement dans les locaux intéressés (sauf dans la salle du Conseil, les salons de réception et les grandes salles décoratives); — que la vapeur se dépense partout sans difficulté, sans bruit, en circulant de haut en bas, avec retour de l'eau condensée à la chaufferie, et réintroduction dans les chaudières; — et que, grâce à l'emploi de détendeurs et de purgeurs automatiques d'eau et d'air, aucune différence de pression sensible, aucune contrepression, aucune perte de vapeur ne se produisent.

Dix chaudières alignées de front dans la chaufferie centrale en sous-sol, chaudières multitubulaires inexplosibles du système De Naeyer, présentant ensemble une surface de chauffe de 663 mètres carrés, sont affectées au service du chauffage et de la ventilation de l'Hôtel de ville.

Sur ces dix chaudières, deux commandent les machines de ventilation et les pompes alimentaires ; et deux autres, utilisées chaque matin à la mise en marche du chauffage, fournissent, le soir, la vapeur nécessaire à deux belles machines Weyher et Richemond, installées tout spécialement pour l'éclairage électrique (Edison) de certaines parties de l'édifice.

Quant à la ventilation des divers locaux de l'Hôtel de ville, elle est directe ou par simple appel, dans les bureaux en général, et mécanique, notamment dans la salle du Conseil, la salle du Budget, la grande salle Saint-Jean, les salons de réception et de fêtes, et aussi dans les bureaux du sous-sol et partie des bureaux du service financier.

La belle salle du Conseil, qui retient l'attention des visiteurs, est ventilée par insufflation mécanique. Des orifices d'introduction d'air, très nombreux, sont placés dans la région même occupée et l'alimentent d'air pur constamment renouvelé. Cet air pénètre dans la salle par veines fluides filiformes sans vitesse appréciable, et à une température de 18 degrés en hiver.

Dans cette saison, les déperditions murales et vitrées sont compensées par des arrivées d'air chaud spéciales débouchant au bas des fenêtres.

L'évacuation d'air vicié s'effectue par le plafond, pour de là gagner des gaines d'appel pourvues de rampes à gaz.

Le système de ventilation appliqué à la salle du Conseil est non seulement efficace, mais encore conforme aux indications de l'hygiène, beaucoup mieux que les systèmes de ventilation par appel trop souvent usités. La superficie de la salle est de 350 mètres carrés, le nombre de personnes dépasse quelquefois cent et la ventilation peut atteindre 8 à 10,000 mètres cubes d'air par heure.

L'ensemble des locaux chauffés et ventilés dans l'Hôtel de ville de Paris dépasse 180,000 mètres cubes.

Un dernier mot sur la ventilation, relativement au choix des ventilateurs et à l'emploi de l'électricité comme agent de transmission de force pour actionner ces appareils.

Les divers locaux à ventiler mécaniquement étant très distants les uns des autres et ne concordant ni comme besoins, ni même comme heures de fonctionnement, chaque service a été pourvu de ses appareils de ventilation propres.

C'est ainsi que trente-cinq ventilateurs ont été nécessaires pour répondre aux exigences à satisfaire. Trente de ces appareils sont des sortes de turbines à air, à noyau plein et à palettes hélicoïdales du système Geneste et Herscher, et cinq sont des ventilateurs à force centrifuge du système Ser.

Ces trente-cinq ventilateurs étant disséminés, et leur établissement aux endroits d'utilisation réduisant la force nécessaire à chacun d'eux au minimum, on pouvait et on devait songer à centraliser près des générateurs de vapeur, des machines initiales productrices d'énergie à répartir, source de force actionnant par une transmission quelconque les trente-cinq appareils.

Ce problème a été résolu très convenablement par l'emploi de machines dynamo-électriques du système Gramme, fournies et installées par la Compagnie électrique, après étude commune avec la maison Geneste et Herscher. Une machine à vapeur faisant, suivant les besoins, de 5 à 15 chevaux, deux dynamos générateurs d'électricité, et trente-cinq récepteurs Gramme commandés en dérivation, suffisent pour assurer tous les services. Aucune installation de ce genre, aussi complexe, n'avait été pratiquement réalisée jusqu'à ce jour.

Cette installation est complétée par le service d'un bureau central placé dans la chambre même des générateurs, bureau dans lequel un agent de la maison Geneste et Herscher a sous la main des commutateurs lui permettant de mettre en marche, ou d'arrêter à

volonté, une partie quelconque ou la totalité des appareils de ventilation mécanique. »

M. Couche, ingénieur en chef des ponts et chaussées, voulut bien ensuite faire, dans la salle élégante et spacieuse du Conseil municipal, une conférence des plus instructives sur l'organisation du service des eaux à Paris, sur les divers modes de distribution [1].

Avant de quitter l'Hôtel de ville, les visiteurs remarquèrent un « appareil » des plus hardis qui, sans aucune poutre ni solive métallique, forme le palier supérieur de l'escalier du préfet. La voûte surbaissée constitue un véritable chef-d'œuvre architectural.

La distribution des eaux nécessaires aux services public et privé, l'utilisation des eaux rejetées par cette double consommation entraînaient nécessairement à la visite des égoûts. Cent personnes descendirent, au Châtelet, pour parcourir en wagons, puis en bateaux, l'égout construit sous la rue de Rivoli et le grand collecteur, de la place de la Concorde à la Madeleine. De nombreuses descriptions dispensent d'insister sur ces canalisations souterraines, où les rues, places et maisons sont indiquées et numérotées comme sur la voie publique, où les orages à débit anormal sont marqués par des plaques commémoratives ainsi qu'on a coutume de le faire pour les inondations à la surface du sol, où les tuyaux d'eau de l'Ourcq, de Seine, de sources, les tubes pneumatiques, les fils télégraphiques et téléphoniques garnissent les parois et la voûte dans un ordre absolu.

En traversant le collecteur du boulevard Sébastopol élevé de 4 mètres sous clef, les visiteurs remarquent les deux conduites maîtresses de la Ville de Paris, l'une de $1^m,10$ de diamètre et l'autre de $0^m,800$ qui, supportées par d'élégantes colonnettes, sont chargées de distribuer l'eau de Vanne sur la rive droite de la Seine, avec une pression moyenne de 4 atmosphères.

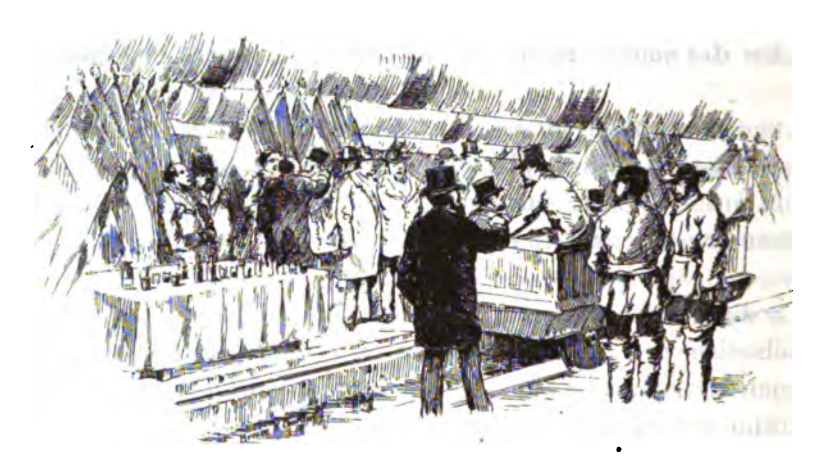
En 20 minutes, le convoi arrive au carrefour de la place de la Concorde où doit s'effectuer le transbordement sur des bateaux-promenades, pour gagner la Madeleine par le grand collecteur d'Asnières.

Là, nous assistons aux expériences d'éclairage électrique poursuivies

1. Voir la note sur la conférence faite par M. Couche, p. 267.

par les entrepreneurs de la distribution des eaux de la Ville, MM. Mathelin et Garnier, en vue de supprimer l'éclairage défectueux à l'huile et à la chandelle pendant la pose des tuyaux de conduites.

Ces aimables Ingénieurs civils ménageaient à leurs visiteurs une agréable surprise.



La plate-forme de transbordement, splendidement éclairée à la lumière électrique, était pavoisée aux couleurs belges, hollandaises et françaises ; le personnel de l'entreprise rivalisant de courtoisie avec ses chefs, offrit des rafraîchissements déguisés sous le nom d'eau de Gennevilliers en bouteilles mais faciles à reconnaître pour d'excellents vins de Champagne; aussi l'un de nos hôtes fit-il spirituellement remarquer que ces eaux étaient bien chargées d'acide carbonique.

L'après-midi fut surtout utilisée à la visite de la manufacture des tabacs du quai d'Orsay où MM, les chefs de service se multiplièrent avec la plus grande obligeance et fournirent d'intéressants renseignements sur une fabrication simple, en apparence, très minutieuse en réalité, et exigeant des soins infinis pour assurer la régularité des produits. Les machines les plus variées fournissent le travail à un personnel d'environ deux mille ouvriers et ouvrières, depuis les appareils à râper, les moulins, les grosses broches qui enroulent les feuilles à chiquer comme la broche servant, en corderie, à fabriquer le fil de caret, jusqu'aux délicates balances automatiques

destinées à contrôler le poids des paquets à fumer et les ingénieuses machines à façonner les cigarettes. Le dernier type fournit jusqu'à dix mille cigarettes à l'heure.

Le *Ministère des postes et télégraphes* ayant rigoureusement limité, au chiffre de vingt, le nombre des entrées au poste pneumatique, la plupart des ingénieurs présents ne purent s'y rendre et terminèrent la journée par une visite aux importants établissements Cail dont le directeur, M. le colonel de Bange, secondé par M. Bougault, leur fit les honneurs avec la plus grande cordialité.

L'atelier de construction mécanique et de montage, qui mesure 240 mètres de long, sur une largeur de 120 mètres, présente une collection de machines-outils, enrichie chaque jour des éléments les plus nouveaux et les plus perfectionnés. Un grand nombre de ces machines ont été étudiées et construites dans les ateliers mêmes de la Société; les autres ont été demandées aux meilleurs constructeurs français et étrangers.

Au côté gauche de ce vaste atelier se trouvent réunis plus de deux cents tours et machines diverses à fraiser, à mortaiser, à raboter, etc., de petite et de moyenne force; à droite sont disposés, sur deux rangs, les outils les plus puissants que possède l'usine. Nous y avons remarqué un tour pouvant recevoir des pièces de 13 mètres de longueur et un banc de forage et de rayage de mêmes dimensions, récemment établis en vue de la construction du nouveau canon de 340 millimètres, système de Bange, dont nous dirons plus loin quelques mots.

Le centre de l'atelier, est réservé au montage des locomotives en cours de fabrication; il était fort intéressant de pouvoir suivre ainsi, en quelques minutes, les diverses transformations par lesquelles passe une locomotive avant d'être entièrement terminée.

D'autres appareils ont également attiré l'attention des Ingénieurs étrangers : Un moulin à cannes avec sa machine à vapeur, modifié sur les indications du colonel de Bange, et dans lequel les bâtis en fonte ont été remplacés par des bâtis en tôle rivée sur cornières. Cette disposition a permis de réduire beaucoup le poids de l'appareil, ce qui en facilite singulièrement le transport et le montage dans des pays où les moyens d'action sont parfois très limités. Le remplacement de la fonte par le fer rend possible la réparation des bâtis, en cas de rupture.

Différents appareils destinés à une minoterie d'un genre nouveau.

Les visiteurs ont examiné avec intérêt, plusieurs spécimens des canons système de Bange, adoptés par l'artillerie française. Ces canons, en acier, frettés, ont une puissance supérieure aux pièces similaires des autres systèmes, le mécanisme de la fermeture de culasse se manœuvre avec la plus grande facilité; même dans les pièces de gros calibre l'obturation est obtenue par un obturateur plastique d'un fonctionnement certain.

Dans les ateliers affectés à la construction des ponts et charpentes métalliques et à la chaudronnerie, ils ont remarqué une machine à découper par paquets les longerons de locomotives et, parmi les travaux en cours, une flottille de canots à vapeur de 10 mètres de longueur, en tôle d'acier, construits pour le Ministère de la Marine; ces canots portent une machine, qui, sous un très petit volume, peut développer une force effective de 28 chevaux et imprimer à l'embarcation une vitesse de neuf nœuds. Ces canots sont, en outre, munis d'un dispositif, qui permet de les employer au besoin au lancement des torpilles.

Les visiteurs ont pu voir ensuite sur le tour, le canon le plus important de son système que le colonel de Bange ait encore entrepris, et dans lequel il a réuni une série de perfectionnements.

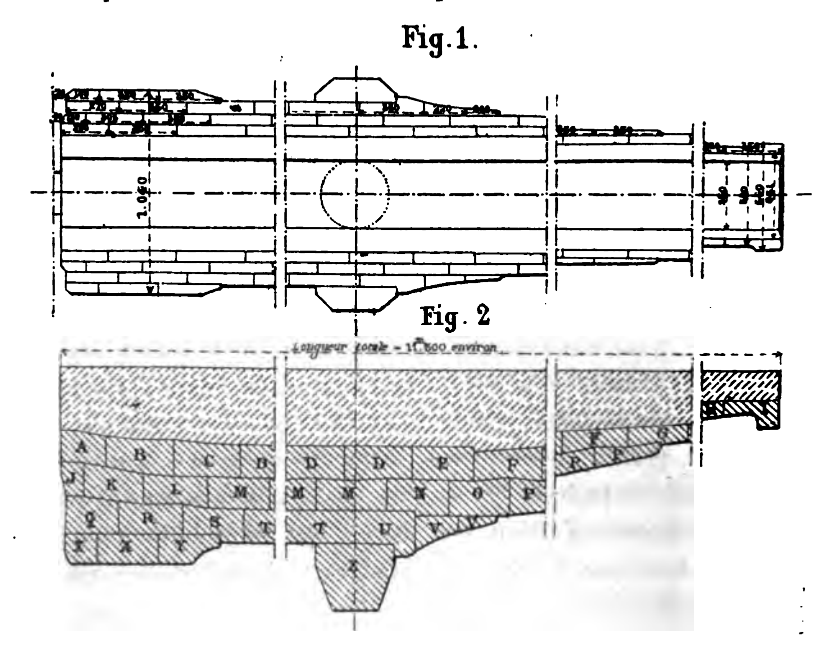


Fig. 1.

Fig. 2

Le frettage, exécuté d'après un procédé nouveau, permettra de fabriquer des pièces d'une énorme puissance sous un poids très réduit. Or, en raison des résultats obtenus dans ces derniers temps pour la construction des blindages, il est aujourd'hui indispensable que nos navires et nos côtes soient armés de canons très puissants, dont l'emploi était jusqu'ici forcément restreint, par suite de leur poids exagéré.

L'affût du canon, également étudié par le colonel de Bange, présentera des dispositions toutes nouvelles, et ne pèsera guère que la moitié des affuts similaires, tout en présentant une résistance plus considérable.

Le soir, la *Société des Ingénieurs civils* mit à profit le bienveillant concours du Directeur du Conservatoire des arts et métiers, M. le colonel Laussedat, pour recevoir ses hôtes dans les galeries du musée industriel, brillamment éclairées. Une intéressante conférence de M. Picou, accompagnée d'expériences sur l'éclairage électrique, clôtura la soirée[1]. Deux buffets dressés par les soins de la Société des Ingénieurs civils réunirent nos hôtes dans un toast d'adieu.

Cependant, le vendredi 15 août, M. Tresca, toujours infatigable, avait donné rendez-vous pour deux heures, à la nouvelle école centrale des arts et manufactures. Sous la conduite de l'architecte, M. Denfert, qui a remplacé le regretté M. Demimuid, quelques visiteurs ont parcouru l'École depuis le rez-de-chaussée jusqu'aux combles. L'emplacement est limité et il a fallu prendre en hauteur ce qui manque en surface. L'architecte a heureusement tourné la difficulté. Les bâtiments forment les côtés d'un rectangle de 100 mètres de longueur sur 60 mètres de largeur, au centre duquel règne une vaste cour, de sorte que les quatre corps sont doublement éclairés sur la cour et sur l'une des rues qui entourent l'École. Les services de l'administration, les logements du directeur et du sous-directeur sont groupés sur un même côté. Les trois autres sont réservés : 1° aux salles de travail, aménagées chacune pour douze élèves et largement éclairées; 2° aux salles d'examens, au

1. Voir le texte de cette conférence p. 275.

portefeuille, aux collections; 3° aux amphithéatres. Un même étage est consacré à une seule année. La bibliothèque, donnant sur une large galerie de lecture, est aménagée à l'étage intermédiaire. Enfin les laboratoires des élèves sont situés sous des combles fort élevés, éclairés par de larges vitrages. Le défaut de place obligeait à cette installation qui, sous le rapport de l'éclairage et de la ventilation ne paraît laisser rien à désirer, mais qui, pendant la saison chaude et alors que les fours et étuves seront chauffés, constituera peut-être une grande gêne pour les chimistes.

Après avoir remercié M. Denfert, M. Tresca a clos définitivement la réception en adressant aux Ingénieurs étrangers, au nom de la Société des Ingénieurs civils de France, des souhaits de bon retour et en émettant le vœu d'une nouvelle et prochaine réunion.

Le même jour, un assez grand nombre de nos collègues se rendirent aux ateliers de la rue de Chazelles où M. Gaget, leur fournit toutes les explications concernant l'exécution de la statue de la Liberté offerte aux États-Unis par 130,000 souscripteurs français. Cette statue doit être démontée prochainement pour être réédifiée ensuite sur un piédestal de 25 mètres de hauteur, que les Américains font construire dans l'île de Bedloë, à l'entrée de la rade de New-York, où elle servira de phare.

Cet intéressant travail est dû à la conception du sculpteur Bartholdi.

La statue mesure 46 mètres de la base à la partie supérieure du flambeau et 34 mètres du talon au sommet de la tête[1].

Elle est en cuivre rouge martelé, de $0^m,0025$ d'épaisseur, qui, contrairement au bronze, permet de produire des pièces de grandes dimensions d'un poids relativement faible. En raison de la quantité

(1) A titre de comparaison, voici les hauteurs des statues les plus colossales sans leurs piedestaux :

Colonne Vendôme de la base au sommet	$44^m,00$
Colosse de Rhodes (maximum des proportions attribuées par la tradition)	$41^m,60$
Arminius en Westphalie	$28^m,30$
Saint-Charles Borromée à Arona (lac majeur)	$23^m,00$
Vierge du Puy (Haute-Loire)	$16^m,00$
Bavaria à Munich	$15^m,70$

de morceaux qu'il eût fallu couler, il y avait à redouter les retraits de la fonte de bronze, qui eussent constitué de sérieux inconvénients pour le montage.



Les feuilles laminées épousent facilement, au martelage, les surfaces en saillie et en creux, contre lesquelles on les applique. Elles possèdent des qualités de durée et de résistance, sinon supérieures au moins égales à celles du métal fondu et enfin elles présentent, dans le cas actuel, une certaine économie de main-d'œuvre et surtout de matière première que l'on peut évaluer à 500 tonnes.

Le poids total de la statue est de 200,000 kilogrammes dont 80,000 kilogrammes cuivre et 120,000 kilogrammes fer formant l'ossature et l'armature des feuilles de cuivre assemblées provisoirement au moyen de vis à écrous pour être rivées ensuite définitivement. Elles ont été battues sur des empreintes en bois prises sur les moules en plâtre amenés successivement du 1/16 au 1/4 et grandeur

d'exécution ; nos collègues ont pu voir quelques-uns de ces modèles conservés encore dans les ateliers.

La charpente intérieure en fer est composée, en principe, de quatre grands pilones amarrés, chacun, dans un massif de maçonnerie au moyen de quatre boulons de $D = 0^m,14$ et $L = 6$ mètres. Des entretoises et croisillons relient ces pilones entre eux et les feuilles de cuivre viennent s'y rattacher par une série de fers méplats. L'ensemble de la charpente a été calculé et construit par notre collègue, M. Eiffel, de manière à résister à la charge proprement dite et ses composantes, ainsi qu'aux efforts horizontaux exercés par le vent, évalués à raison de 270 kilogrammes par mètre superficiel. De petites plaques de cuivre garnies de chiffons enduits de minium seront interposées, lors du montage définitif, entre les feuilles martelées et les armatures en fer, afin de neutraliser l'action galvanique que l'on peut quelquefois redouter des vents de mer chargés d'eau salée. Enfin la dilatation générale sera rendue libre au moyen de coulisseaux en cuivre, quoiqu'elle le soit déjà, en grande partie, par le plissé des draperies qui forment des soufflets naturels de dilatation.

Tout fait donc espérer que cette grande œuvre résistera à l'action du temps et sera un gage perpétuel d'amitié entre la France et les États-Unis d'Amérique.

Un lunch offert par notre collègue, M. Gaget, dans ses ateliers et un toast porté par M. Casalonga et par tous les Ingénieurs présents pour féliciter les constructeurs de l'accomplissement d'une œuvre aussi remarquable, clôturèrent cordialement cette intéressante visite.

LISTE DES INGÉNIEURS BELGES ET HOLLANDAIS

QUI ONT ASSISTÉ A LA RÉCEPTION

Anciens élèves de l'École de Liège.

Beaujean (Emile), à Liège.
Beer (Charles), à Liège.
Beer (Sylvain), à Jemeppe.
Bernimolin, à Grivegnie.
Bia (Gustave), à Quarignon.
Bihet (Émile), à Liège.
Boscheron (Léon), à Liège.
Boscheron (Alfred), à Liège.
Bronne (Louis), à Liège.
Challe, à Chatelineau.
Cheneux (Louis), à Ougrée.
Courtin (Adolphe), à Mons.
Courtois, à Auby-les-Douai.
Dapsens (Léon), à Bruxelles.
Dautrebande, à Paris.
Defays, à Warfusée.
Delaveleye (Ed.), à Liège.
Desenfans, (G.), à Chatelineau.
Desguin, à Bruxelles.
Domanski (L.), à Liège.
Douxfils (Ch.), à Paris.
Dulait (J.) fils, à Charleroi.
Duquenne, à Liège.
Dwelshauvers, à Liège.
Fineuse (Ed.), à Namur.
Fréson (Jules), à Liège.
Franeau, à Mons.
Galland (A.), à Gand.
Gernaert (Cam.), à Paris.
Ghinijonet, à Liège.
Gillet, à Andame.
Goret (L.), à Liège.
Guillaume (E.), à Marcnielle.
Habets (A.), à Liège.
Harmegines, à Auby-les-Douai.
Henin (Jules), à Farciennes.
Henrard, à Bordeaux.
Hovine (Donat), à Marchiennes-au-Pont.
Jaspar (A.), à Liège.
Jowa (Léon), à Liège,
Kréglinger (A.), à Arras.
Lechat, à Paris.
Legrand (Charles), à Bruxelles.
Lejeune, à Haumont.
Lhoest (Léon), à Maëstricht.
Lhoest (Paul), à Liège.
Loiseau (Oscar), à Ougrée.
Mayer de Lewalt, à Nancy.
Moyaux (Auguste), à Bruxelles.
Nagelmackers (G.), à Bruxelles.
Nève, à Vezin.
Nicodeme (L.), à Morlanwelz.
Nyst (Frédéric), à Liège.
Onsmonde (J.), à Liège.
Progneaux (E.), à Haumont.
Raymond, à Angleur.
Raze (Auguste), à Ougrée.
Rocour (G.), à Liège.
Roufosse, à Incheville.
Schmitz (Hubert), à Anvers.
Sengier, à Monceau-sur-Sambre.
Stassart (S.), à Mons.
Steinbach (V.), à Bruxelles.
Taskin (L.), à Jemeppe.
Thiriar, à Liège.
Tomson, à Dortmund.
Trasenster (L.), à Liège.
Urban (Adolphe), à Bruxelles.
Vinçotte (Lucien), à Saint-Denis.
Vertongen, à Termonde.
Vissoul (C.), à Bruxelles.
Witmeur, à Bruxelles.

Anciens élèves de l'École de Gand.

Acker, à Paris.
Anten, à Gand.
Buysse, à Wetteren.
Mont, à Liège.
Denys, à Anvers.
Grenier (Louis), à Tournai.
Groote (de), à Liège.
Henricot, à Bruxelles.
Hertay (Ed.), à Bruxelles.
Lagasse (Émile), à Bruxelles.
Lefèvre (Émile), à Bruxelles.
Léonard, à Gand.
Massau, à Gand.
Mathelin, à Lille.
Mottart, à Liège.
Moyson, à Gand.
Prayon, à Gand.
Prevot, à Soignies.
Quanonne, à Haumont.
Roussel, à Malines.
Schryver (de), à Haumont.
Somer (de), à Malines.
Tamine, à Mons.
Van Beveren (A.), à Bruxelles.
Verhulst, à Gand.

Anciens élèves de l'École de Louvain.

Debouche, à Marcinelles.
Deschamps, à Marchiennes-au-Pont.
Dumont, à Louvain.
Dutordoire, à Gand.
Evrard, à Marchienne.
Fontenelle, à Monceau.
Gilleaux, à Gilly.
Goubet, à Bruxelles.
Henry, à Dinand.
Hiernaux, à Paris.
Leyn (de), à Lille.
Mandet, à Montigny.
Pacco, à Enghien.
Pourbaix, à Dampremy.
Vandecapelle, à Louvain.
Vanderhofstadt, à Bruxelles.
Van Mol, à Bruges.

Ingénieurs Hollandais.

Koning (de), à Nimègue.
Post, à Utrecht.
Rahusen, à Nimègue.
Ribbius, à Amersfoort.
Van Diest, à Haumont.

INVITÉS

MM. Bertrand, directeur du musée de Saint-Germain.
Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Bange (de), le colonel-directeur des anciens établissements Cail.
Laussedat (le colonel), directeur du Conservatoire des arts et métiers.
Mille, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.
Picout, ingénieur de l'usine Edison.

Membres de la Société souscripteurs à la réception des ingénieurs étrangers

Arbel.
Arson.
Badois.
Bailly.
Barbet.
Barret.
Béliard.
Belleville.
Benoit Duportail.
Bianchi.
Bihet.
Biver (Alfred).
Boistel.
Bonpain.
Boudier.
Bougault.
Bourdon (Eugène).
Bourdon (Edouard).
Bougarel.
Bourdil.
Boutmy (Charles).
Bramwell.
Brauer.
Breton.
Brichaut.
Bricogne.
Bronne (Joseph).
Brüll.
Brustlein.
Buddicom.
Cabanellas.
Carénou.
Casalonga.
Cauvet.
Chabrier (Ernest).
Chaize.
Chatard.
Chauvel.
Clair.
Clémandot.
Clerc.
Comberousse (de).
Cormier.
Contamin.
Cossigny (de).
Courras.
Courtier.
Dallot.
Dambricourt.
Decauville.
De Dax.
Deghilage.
Delannoye.
Delsa.
Demolon.
Desgrange.
Desmazures.
Detraux.
Deullin.
Doat.
Dru Léon.
Elwell.
Eschger père.
Eschger fils.
Euchène.
Farcot (Joseph).
Forey.
Forquenot (Victor).

Fortin Herrmann (Adolphe).
François (Joseph).
Francq (Léon).
Frion.
Furno.
Gaget.
Gallais.
Garnier (Hubert).
Garnier (Paul).
Geneste.
Giraud (Jules).
Goldenberg.
Gottschalk.
Grosseteste.
Guerbigny.
Guéroult (Paul).
Guyenet.
Hallopeau.
Hersent.
Herscher (Charles).
Herscher (Ernest).
Hodgson.
Houbigand.
Jacqmin.
Jordan.
Kern.
Kreglinger.
Kreutzberger.
Langlade.
Legenisel.
Lemoine (Auguste).
Lencauchez.
Levassor.
Level (Émile).
Leverbe.
Levi-Avarès.
Loutreuil.
Maire (Léon).
Maisonneuve.
Marchal.
Marché.
Martin (Louis).
Martin (Auguste).
Mathieu (Félix).
Mathieu (Henri).
Mesnard.
Meuron.
Molinos.
Mosnier (Démétrius).
Monteil.
Morandière (Jules).
Moreau (Henri).
Moreau (Auguste).
Moreaux (Félix).
Morel.
Moyaux (Léon).
Muralt (de).
Neubourg (de).
Noel.
Neujean, père.
Neveu (Auguste).
Olivier (Arsène).
Oriolle.
Paupier.
Parisse.
Peligot.
Pehr de Rehausen.
Pérignon.
Périssé.
Piat.
Poncelet.
Poupard.
Quillacq.
Raux.
Ravasse.
Regnard.
Remaury.
Résimont.
Reynier.
Richard (Louis).
Robin (Émile).
Rocour.
Rousseau.
Roy (Antoine).
Roy (Edmond).
Sauvan Deleure.
Schryver (de).
Sepulchre.
Servier.
Severac.

Seyrig.
Simon (Édouard).
Taillard.
Thirion (Antoine).
Thomas (Léon).
Tournelles (des).
Trélat (Émile).
Tresca (Henri).
Tresca (Alfred).
Vauthelebret (le baron de).
Vaslin.
Vieillard.
Vinçotte.
Vuillaume.
Watel.
Wurgler.
Yrazusta.

NOTE

SUR LE

NOUVEL OPÉRA DE PARIS

PAR M. **AUGUSTE MOREAU**.

Nous n'avons pas la prétention, dans une aussi courte notice, de donner une description complète de ce merveilleux monument, pour lequel l'éminent architecte, M. Ch. Garnier, de l'Institut, a dépensé tant de travail et de talent. Nous serons même, à notre grand regret, obligé de passer sous silence la partie essentiellement artistique qui est cependant la plus importante et fait de l'Opéra une merveille unique en son genre. Notre mission est de signaler ici les principales installations qui peuvent intéresser des ingénieurs au point de vue essentiellement technique : il y a déjà là de quoi s'instruire. Pour le reste, nous engageons vivement ceux de nos lecteurs qui s'intéressent à ces questions et peuvent disposer du temps nécessaire à leur étude spéciale, à consulter le remarquable travail fait sur ce sujet par M. Ch. Garnier lui-même[1]. Ils y trouveront condensés, sous une forme des plus agréables à lire, tous les éléments de cette grande œuvre architecturale avec une étude des nombreuses œuvres d'art qui en font l'ornement.

Nous-même, aidé des aimables conseils de M. Garnier, y avons puisé bon nombre des renseignements qui suivent.

Fondations. — Le terrain de l'Opéra est formé de sable compact et vierge, ce qui constitue au premier abord une assez bonne condition; malheureusement ce sable est traversé par une nappe d'eau assez

1. *Le Nouvel Opéra de Paris*, par M. Ch. Garnier, membre de l'Institut. Paris, 1881, Ducher, éditeur.

étendue en largeur et en hauteur, et présentant une vitesse de courant très sensible. Quelques personnes pensent que ce n'est que l'ancien ruisseau de Ménilmontant ; dans tous les cas ce ne sont que les eaux dérivées de ce ruisseau et non son lit lui-même, car les sables sont parfaitement homogènes, sans aucun dépôt ni alluvion d'aucune sorte.

Or il fallait, pour satisfaire au programme et disposer convenablement les dessous du théâtre, placer les basses fondations jusqu'à 5 mètres environ au-dessous du niveau moyen de ces eaux souterraines ; en même temps il était indispensable de préserver les dessous de toute infiltration.

M. Ch. Garnier résolut le problème en construisant ces dessous en forme de double enceinte dont la première, l'extérieure, garantit complètement l'intérieur de la seconde, contre tout danger d'immersion. C'est une sorte de double cuve en forme de calorimètre disposée de manière que la cuve intérieure ne touche que par des supports au fond et aux parois de l'extérieure : les infiltrations qui peuvent se manifester ne font alors que pénétrer dans l'espace annulaire réservé entre les deux récipients, où on peut l'enlever par des pompes sans qu'elle gêne en rien les services qui se font dans l'enveloppe centrale.

Dans l'exécution, l'enveloppe externe fut représentée par un batardeau de 2 mètres de largeur environ et rempli d'excellent béton jeté dans des fouilles épuisées par des pompes Malo et Letestu. Ensuite commença le déblaiement de la partie centrale qui fut poussé en son centre jusqu'à 1 mètre environ au-dessous du fond de la fouille du batardeau du pourtour ; et cela, dans le but d'augmenter au milieu l'épaisseur du béton et de lui donner la forme voûtée meilleure au point de vue de la résistance aux poussées latérales. Le béton, coulé dans cette fouille générale par couches de 0.16 à 0.20, atteint une épaisseur de 1.20 sur tout le pourtour et par suite de 2.20 au centre. On le recouvrit d'une couche de mortier de 0.10 surmonté d'une excellente chape en sable et ciment de 0.05. C'est dans cette cuvette générale que furent installés les murs de pourtour et les murs de séparation de la scène avec les couloirs du fond conformément au principe exposé plus haut ; le tout fut bien calfaté au ciment et constitua la seconde cuvette intérieure. Quelques infiltrations se manifestèrent à la vérité dès le début ; mais depuis, l'espace annulaire est parfaitement étanche et à plus forte raison, en est-il de même de la partie centrale, la plus intéressante.

Elle fut d'ailleurs pendant les travaux, longtemps remplie d'eau et, en bouchant successivement toutes les fuites qui se manifestèrent, on est arrivé à avoir une cuvette complètement imperméable. C'est à ce point qu'il a été quelquefois question d'en faire un réservoir d'eau supplémentaire en cas d'incendie.

Les caves. — Les caves de l'Opéra constituent un côté fort curieux du monument; on est en effet très impressionné par ces immenses voûtes, ces larges piliers de maçonneries, ces murs robustes qui vont dans toutes les directions et se croisent dans tous les sens. Elles sont d'ailleurs encombrées, du sol à la clef, de tout un réseau véritablement fantastique de tuyaux, de conduites, de canalisations de toutes sortes, égouts, gargouilles, conduites d'eau et de gaz, tubes de calorifères, compteurs, etc., etc. On sait que, pendant le siège de Paris, elles servirent de dépôt à l'intendance militaire. Depuis, l'on en a plusieurs fois refusé la location à d'honnêtes commerçants en vins qui voulaient y déposer leurs futailles !

Machinerie théâtrale. — La partie qui, à *priori*, paraissait devoir être la plus intéressante dans un théâtre de l'importance de l'Opéra, était sans contredit la machinerie.

Au premier abord tout a l'air fort compliqué et lorsqu'on parcourt les dessous comme les combles de la scène, avec leurs multitudes de cordages, de treuils, de poulies, de moufles, on croirait se trouver dans la mâture d'un navire; mais au bout de quelques instants d'examen, la surprise est assez grande, il faut l'avouer, de voir que les décors et fermes sont amenés des combles ou des dessous au moyen des vieilles cassettes à glissières et de fils à contrepoids qui s'enroulent sur des treuils, mus encore à bras d'hommes; les portants et châssis sont également amenés des côtés, sur la scène, au moyen de charriots roulants poussés à la main. Le tout en un mot ne réalisant aucun progrès sur les procédés employés depuis plusieurs siècles dans les plus petits théâtres de banlieue.

Il y a évidemment là une anomalie, dont l'explication est cependant facile à donner. A la suite de l'incendie de l'ancien Opéra de la rue Lepelletier, on dut ouvrir au plus vite la nouvelle salle du boulevard alors qu'on croyait avoir devant soi encore au moins quatre ou cinq ans pour élucider plusieurs questions importantes qui demandaient des

études complémentaires; celle de la machinerie était du nombre. On installa donc le plus rapidement possible les mécanismes les plus connus des machinistes et qui avaient fait leurs preuves jusque-là, se réservant de les remplacer dans la suite par des systèmes plus perfectionnés. Les inventeurs et les projets, en effet, ne manquèrent pas depuis et l'on peut citer : MM. Raynard, Barthélemy de Nancy, Sabattier et Quéruel, Sacré, Brabant. M. Quéruel surtout, parut faire faire un grand pas à la question en préconisant l'usage des machines hydrauliques; et son projet présente un certain nombre d'idées justes qui ont été adoptées dans l'établissement de celui des deux grils mobiles, qui fut enfin déposé par M. Garnier, en collaboration avec M. Tresca, et adopté à l'unanimité moins une voix par la commission spéciale.

Le problème est donc résolu et la question du perfectionnement de la machinerie de l'Opéra décidée en principe. Quel est donc le motif qui en retarde la mise à exécution? Une simple question budgétaire, qui, espérons-le, ne constituera pas un obstacle éternel.

Ascenseur des décors. — L'ascenseur des décors et des chevaux amenés de l'extérieur du bâtiment a été pendant longtemps lui-même mû à bras. Ce n'est en somme qu'une grande cage suspendue entre des guidages mue par un treuil Bernier, et équilibrée par des contre-poids. Cet ascenseur peut contenir le chargement d'un chariot ordinaire de décors et 12 chevaux; il peut élever une charge de 12 tonnes et demandait une demi-heure environ pour élever ce poids à une hauteur de 12 mètres. Il est aujourd'hui mis en mouvement par une machine à gaz de 8 chevaux qui l'élève en deux minutes et demie.

Toute la machinerie a été installée par M. Brabant. Le monte-charge est dû à M. Gauthier.

Chauffage et ventilation. — L'étude de cette importante question fut à l'origine confiée à une commission présidée par M. le général Morin, directeur du Conservatoire, qui, après un concours assez restreint, adopta le projet de M. d'Hamelincourt dont le système était déjà appliqué au théâtre du Châtelet.

Peu après, à la suite de divergences très accentuées dans les manières de voir entre M. Garnier et le président de la commission M. Morin,

celui-ci donna sa démission ; puis survinrent les événements de 1870 et la commission se trouva dissoute de fait. M. Garnier s'occupa alors seul de la question avec son entrepreneur M. d'Hamelincourt, et de leur collaboration est résulté le système actuellement en usage. L'installation en fut terminée seulement la veille du jour de l'ouverture et mise en train sans aucune expérience d'essai. Il en résulta nécessairement une série de rectifications successives qui, pour avoir été faites, pour ainsi dire, au milieu du public, n'en ont pas moins donné des résultats satisfaisants : peut-être eussent-ils été encore meilleurs au double point de vue rationnel et économique si l'on eût écouté les savants spécialistes en la matière. Pendant les entr'actes seulement et grâce aux portes ouvertes, le courant s'établit de la salle vers la scène, ce qui se reconnaît aisément à la concavité du rideau vers la salle et n'a pas manqué à l'origine de provoquer bien des critiques. Mais c'est là un moment passager qui constitue une exception impossible à éviter ; l'important est d'avoir pendant la représentation, alors que la salle est hermétiquement close, une ventilation rationnelle de la scène vers les loges et c'est ce qui paraît assez convenablement obtenu.

Le chauffage se fait par deux méthodes : à l'air chaud pour les foyers, galeries, escaliers, etc., et à l'eau chaude pour la salle et la scène. Sur cette dernière surtout, il est de toute nécessité de ménager la gorge des chanteurs et d'avoir par conséquent une chaleur moins *sèche*, défaut que l'on reproche au mode de chauffage à l'air chaud. En revanche, le chauffage à l'eau chaude présente l'inconvénient d'être un peu plus long à mettre en action. La ventilation se fait par appel. Le système, très soigneusement étudié au début par l'entrepreneur, a été, il faut l'avouer, un peu bouleversé par M. Garnier qui, nous le répétons, s'est constamment trouvé dans ces questions en désaccord complet avec les ingénieurs les plus compétents. L'air pur arrive par les planchers des balcons ; primitivement l'air vicié devait s'écouler par le fond des loges et par des orifices placés sous chaque siège de l'orchestre pour regagner ensuite de gros tubes en tôle qui devaient le conduire au dehors. M. Garnier, pensant que ce système serait une source continuelle de courants d'air désagréables ou dangereux boucha d'abord tous les trous de l'orchestre puis ensuite tous ceux des loges ; la sortie de l'air vicié ne se fait donc guère, en somme, que d'une façon très élémentaire par la cheminée du lustre.

Éclairage. — On est assez loin aujourd'hui, pour l'éclairage des théâtres, du système des chandelles que l'on venait moucher sur la scène comme au temps de Molière, ou du godet rempli d'huile dans laquelle trempait une mèche produisant une flamme fuligineuse et nauséabonde. On est loin même des lampes, quinquets et carcels qui avaient déjà réalisé de grands progrès et l'on a adopté partout le gaz d'éclairage obtenu par la distillation de la houille. On a également songé à l'électricité et M. Garnier, qui s'occupe beaucoup de cette question, croit, comme nous, à la réussite future de ce nouvel éclairage déjà essayé à plusieurs reprises à l'Opéra. Mais en l'état actuel des choses, la vérité et l'économie, sauf pour quelques cas particuliers où l'on veut produire des effets spéciaux, est encore dans l'éclairage par le gaz. C'est en vue de ce système qu'a été faite à l'Opéra toute l'installation qui compte près de 10,000 becs.

Tout d'abord, signalons l'insuffisance de l'éclairage extérieur; on constate avec peine qu'en dehors du monument, le nombre d'appareils éclairants strictement nécessaires n'est pas complet et qu'il serait bon de l'augmenter. M. Garnier a lui-même souvent signalé ce grave défaut à qui de droit, mais ses demandes ont toujours dû être ajournées faute d'argent.

Quant à l'éclairage intérieur, il est intallé d'une façon très remarquable et nous nous étendrons un peu sur ses principales dispositions.

Une grosse conduite faisant l'office de réservoir et de régulateur et permettant partout l'arrivée facile du gaz est placée sous les trottoirs longeant la balustrade extérieure et contourne le monument tout entier. Toutes les grosses conduites de gaz du quartier viennent alimenter ce gros tube circulaire, de façon que si l'une des conduites de la Compagnie venait à manquer l'alimentation de l'Opéra n'aurait pas à en souffrir. A l'intérieur de l'édifice se trouvent 10 compteurs alimentés chacun par un branchement souterrain de 0,162 de diamètre qui est muni, avant son entrée sous les murs du pourtour, d'un robinet perfectionné système Lerévérent, placé dans une cavité bouchée ordinairement par une plaque de fonte, et où un homme peut aisément descendre sans le secours d'une échelle. — On comprend l'utilité de ces robinets et de ces regards en cas de danger imminent, comme un incendie par exemple; on peut immédiatement fermer toutes les conduites de gaz sans être obligé de pénétrer dans l'intérieur du monument.

Ces compteurs, dont six sont de 1,000 et quatre de 800 becs, distri-

buent le gaz dans toutes les portions de l'édifice et sont disposés de telle sorte qu'aucune interruption ne peut se produire dans l'éclairage d'une partie spéciale quelconque. Pour cela ils sont tous reliés entre eux par un tuyau collecteur sans fin de $0^m,20$ de diamètre à joint mobile, qui reçoit, au moyen de robinets convenablement disposés et réglant la pression de chaque compteur, le gaz sortant à volonté de tous les compteurs ensemble ou de quelques-uns seulement d'entre eux. Pour avoir la moindre interruption locale dans l'éclairage, il faudrait donc que le gaz vînt à manquer dans les dix compteurs à la fois, ce que nous avons plus haut reconnu impossible.

Des colonnes montantes viennent ensuite se brancher sur cette conduite commune et conduisent le gaz de tous côtés. Des précautions analogues à celles des conduites ont été prises pour ces colonnes afin que l'une d'elles puisse toujours être isolée et qu'il n'y ait jamais interruption de l'éclairage par suite de son manque de fonctionnement.

L'appareil caractéristique de l'éclairage de l'Opéra est le jeu d'orgue central qui concentre les arrivées de tous les branchements de l'édifice et permet d'obtenir les alternatives de lumière et d'obscurité, totales ou partielles, qui sont indispensables au théâtre où tout se passe toujours aux lumières. Le lustre et la couronne lumineuse, les herses, la rampe, les portants et les rampes de terrains, viennent tous aboutir, par des conduites séparées, à ce jeu d'orgue, dont le but est de ramener au même point les robinets commandant tous les becs du théâtre, de manière de permettre à un seul homme de produire instantanément tous les effets d'ombre et de lumière nécessités par les jeux de scène.

Autrefois cette opération s'exécutait en détail en fermant tous les robinets nécessaires; cela exigeait un personnel considérable et ne se faisait jamais avec l'ensemble désirable.

Ce jeu d'orgue est placé au-dessous de l'avant-scène dans une position bien centrale et le chef de l'éclairage, au moyen d'une petite niche placée à côté de celle du souffleur, peut diriger ses appareils et son personnel en même temps qu'il observe l'effet produit sur la scène et dans la salle. Voici en quoi consiste cet appareil imaginé par MM. Lecoq frères et Ch. Garnier.

Le réseau tout entier des conduites de l'Opéra vient se terminer dans une conduite unique dont la section est égale à la somme des sections des conduites d'arrivée et qui fait l'office de réservoir où le

gaz est toujours un peu en excès par rapport à la consommation. De ce réservoir partent deux branchements qui se dirigent l'un à droite, c'est-à-dire du côté *cour*, et consacré à la scène, et l'autre à gauche, c'est-à-dire du côté *jardin*, qui dessert exclusivement la salle. Ces branchements sont fermés à volonté par des valves à papillon dont les tiges extérieures s'engrènent sur deux roues dentées et graduées. Ces roues, rendues solidaires d'une troisième placée entre elles, peuvent être mues simultanément par le maniement de cette dernière, et l'on obtient aisément ainsi tous les degrés de lumière jusqu'à l'obscurité complète dans la salle et sur la scène. Pour éviter en outre que par un mouvement trop brusque on ne vienne à éteindre complètement le gaz, ce qui n'est pas nécessaire pour simuler la nuit au théâtre, chaque papillon est doublé d'un petit robinet toujours ouvert et qui laisse passer la quantité de gaz nécessaire pour que les becs restent allumés avec cette flamme faible et peu éclairante que les gens du métier appellent le *bleu*.

En dehors de cette manœuvre générale il y a des combinaisons multiples qui doivent satisfaire à tous les besoins si variés d'éclairages plus ou moins intenses de diverses parties de la scène ou de la salle.

Dans ce but, on a installé à chaque conduite différente un robinet de manœuvre dont la clef, placée près du sol, est munie d'un long levier en fer pouvant décrire un quart de cercle. A l'extrémité de ce levier se trouve une poignée qui s'engage dans une rainure ménagée au milieu d'un quadrant gradué; une vis de pression permet de fixer le levier sur le quadrant lorsque le robinet est ouvert de la quantité nécessaire pour donner le degré de lumière voulue. Chaque robinet est, comme précédemment, doublé d'un plus petit toujours ouvert et donnant constamment le *bleu*. Tous ces robinets peuvent agir séparément, simultanément, ou par groupes, de façon qu'une seule manœuvre suffira à mettre en jeu tout le système nécessaire pour produire un effet d'éclairage déterminé. Toutes les intensités de lumière à obtenir pendant la pièce sont d'ailleurs précisées à l'avance au moyen de tableaux portant des numéros correspondant aux graduations des quadrants; la répétition se fait pour l'éclairage comme pour le jeu des acteurs sur la scène et tout se passe le plus régulièrement du monde pour cette partie si importante du service au seul signal du chef d'éclairage.

Il existe en outre de l'éclairage général un certain nombre d'appareils spéciaux assez importants dans la salle et sur la scène.

Ainsi le *lustre*, qui se trouve au milieu de la salle, est mû au moyen

d'un câble en fil de laiton s'enroulant sur un treuil ; l'équilibre est obtenu à une tonne près au moyen de quatre contrepoids. Le gaz est amené par un gros tuyau flexible en cuir qui s'embranche sur une colonne montante et s'enroule ou se déroule autour d'un grand tambour spécial en même temps que le lustre monte ou descend. L'allumage se fait en haut, dans la coupole.

La couronne lumineuse qui fait le tour de la coupole, est alimentée par une conduite circulaire spéciale et, pour éviter la chaleur dégagée par ces becs et les faire au contraire servir à l'aérage, on les a fait tous aboutir dans des tuyaux en cuivre qui emportent les produits de la combustion dans un récipient commun allant rejoindre les cheminées d'appel de ventilation. Cette couronne, d'ailleurs, ne s'allume plus que très rarement, les jours de bals et de premières représentations par exemple ; et l'on paraît même disposé aujourd'hui, à ne plus l'allumer du tout, ce qui serait très regrettable, car elle est d'un excellent effet.

La *rampe* d'avant-scène, que le public appelle simplement la *rampe*, est à flamme renversée, c'est-à-dire que les différents becs branchés sur une conduite générale en fer forgé, sont disposés de manière à dégager leurs feux du haut vers le bas, contrairement à ce qui a lieu d'ordinaire. Les produits de la combustion sont recueillis dans une conduite générale et entraînés par appel dans des tuyaux spéciaux de ventilation. Les mouvements d'élévation et d'abaissement de cette rampe s'obtiennent, comme d'habitude, au moyen de pignons et de roues dentées, et son alimentation se fait au moyen de tubes flexibles en cuir, branchés sur une conduite fixe et présentant une longueur suffisante pour permettre les plus grands déplacements.

On comprend aisément l'important perfectionnement réalisé par ce système sur l'ancienne rampe à flamme verticale montante. On a supprimé ainsi, du même coup, les chances d'incendie des jupes des danseuses et l'altération du larynx des chanteurs, provoquée par la chaleur et la fumée qui se dégageait des anciens becs.

Des rampes secondaires sont disposées dans la partie supérieure de la scène ; c'est ce qu'on appelle les *herses ;* elles sont au nombre de onze, une par plan, tiennent toute la longueur de la scène et peuvent monter ou descendre de toute la hauteur de celle-ci, au moyen de cordes passant sur des treuils spéciaux. Leur alimentation se fait également au moyen de tuyaux flexibles en cuir, présentant le développe-

ment suffisant pour permettre le mouvement extrême de descente jusqu'au plancher de la scène.

D'autres canalisations éclairantes, disposées dans les coulisses et qu'on nomme les *portants*, sont au nombre de vingt-deux, soit deux par *rue*, un du côté cour, l'autre du côté jardin. Les tuyaux qui les relient aux colonnes montantes, un peu moins longs que ceux des herses proprement dites, passent au-dessous de la scène par des trous spécialement ménagés dans le plancher.

Enfin, vingt-deux herses de terrain, destinées à éclairer les objets disposés sur la scène elle-même, sont disposées d'une manière analogue, de façon à occuper chacune la moitié de l'espace libre de la scène, dans les onze plans successifs.

Toutes ces canalisations sont d'ailleurs munies des robinets nécessaires pour obtenir le réglage des gaz à volonté.

Depuis quelques années on a essayé à l'Opéra, comme nous l'avons dit plus haut, l'installation de la lumière électrique, surtout dans le but de diminuer la chaleur et l'altération des peintures. La presse a rendu compte de toutes les tentatives effectuées, et il nous a été donné, dans notre visite du 17 août dernier, d'assister à un essai de ce genre, fait au moyen de lampes Edison.

Mais comme il n'y a encore rien de concluant à tirer de ces épreuves et que l'adoption de ce genre d'éclairage est encore loin d'être un fait accompli, nous nous abstiendrons d'entrer dans aucun détail à ce sujet, quitte à y revenir plus tard, notre rôle aujourd'hui devant se borner à décrire seulement les installations actuelles.

Quant à la lumière électrique employée sur la scène pour produire certains effets décoratifs, elle a été organisée et est encore dirigée actuellement par M. Dubosq.

Conduites d'eau. — L'eau est amenée à l'Opéra au moyen de travaux de canalisation courante, n'offrant aucune particularité bien remarquable, si ce n'est la grande échelle de leur installation.

La canalisation générale est installée au moyen de branchements faits sur les conduites de la ville, puis des colonnes montantes et des tuyaux accessoires conduisent l'eau dans toutes les parties de l'édifice. On a d'ailleurs mis en usage le même système que pour le gaz, c'est-à-dire employé pour la canalisation souterraine, comme pour les colonnes montantes, des communications sans fin qui permettent à l'alimenta-

tion de se faire sans interruption, même en cas de suspension du fonctionnement individuel d'un de ces organes.

En somme, cette canalisation est très étudiée et très complète. Toutes les conduites d'eau ont été fournies par la maison Fortin-Hermann de Paris.

Charpentes métalliques, couverture, etc. — Les charpentes en fer qui sont très nombreuses et très importantes dans le nouvel Opéra, sortent de la maison Escande de Paris. Il y a là un travail très intéressant qui demanderait à lui seul une étude spéciale et sur lequel malheureusement nous ne pouvons nous étendre aujourd'hui. La couverture et la plomberie qui jouent également un grand rôle dans un monument de cette importance sont dues à la maison Guérin.

Il existe d'ailleurs encore bien des questions accessoires qui mériteraient d'être signalées et que nous devons passer sous silence pour ne pas sortir du cadre d'un simple compte rendu de visite comme celui que nous faisons aujourd'hui.

Service d'incendie. — Il existe peu de monuments où les précautions contre l'incendie aient été prises plus largement et avec plus de soin qu'à l'Opéra. Le système employé est le même d'ailleurs que ceux qu'on emploie ordinairement dans les édifices de ce genre, mais il y est installé sur une très grande échelle ; il se compose essentiellement de vastes réservoirs, comprenant des cylindres à air comprimé à la pression de trois atmosphères et placés au haut de l'édifice.

Toutes les régions et surtout la scène et ses dépendances, peuvent ainsi être inondées avec la plus grande facilité. Une surveillance active est organisée, et l'on fait journellement marcher les appareils, de manière à être sûr de leur bon fonctionnement le jour du sinistre.

Un service de rondes est organisé dans tous les locaux et un ensemble de sonnettes électriques placées partout dans le monument, indique au poste central l'endroit précis où doivent se porter les secours. La plus grande partie de cette installation, ainsi que l'adoption des meilleurs engins qui la complètent, est due au service des sapeurs-pompiers, et une commission compétente en a fait la réception avant l'ouverture de la salle au public.

Il est fort heureux que les choses aient dû se passer ainsi, comme d'ordinaire dans ce cas, d'après l'ordre de l'administration ; on ne peut,

en effet, se faire une idée du grand nombre de projets bizarres et de prétendues panacées contre l'incendie, qui furent adressés à M. Ch. Garnier, lorsqu'il fut question de traiter ce côté si intéressant de l'aménagement de l'Opéra. Cela lui évita beaucoup de fins de non-recevoir et lui procura bien des moments de joyeuse humeur! Les sonneries électriques ont été installées par la maison Boivin.

Dépenses. — Le nouvel Opéra a coûté 36 millions tout compris, sauf les terrains cédés par l'État. Cette dépense, qui n'a rien d'exagéré, est cependant loin de la somme votée primitivement par le Corps législatif en 1866, alors que M. Garnier n'avait pas encore eu le temps de dresser ses devis, et qui s'élevaient à 15 millions! Le prix prévu par M. Ch. Garnier était de 31 millions sans les tapisseries, la machinerie et les adjonctions successives; le monument, en somme, a coûté un peu moins que les prévisions. C'est qu'en effet on a visé à l'économie dans toutes les parties de l'édifice; les murs sont moins épais que dans les autres théâtres et le mètre cube de maçonnerie y est revenu moins cher que dans tous les autres monuments de Paris (84 fr. environ), il ne devait pourtant pas entrer dans le programme d'un pareil édifice de s'arrêter trop longtemps devant de semblables considérations; l'idée dominante et qui était dans l'idée de tous, était avant tout de faire un monument *digne de la France*. On peut donc affirmer que M. Ch. Garnier a réalisé son projet en montrant la plus stricte économie et en ménageant avec le plus grand soin les deniers de ses concitoyens.

NOTE SUR LES ÉCLUSES

DE

SURESNES ET DE BOUGIVAL

PAR M. AUGUSTE BOULÉ

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES

I. — ÉCLUSES DE SURESNES

Le barrage de Suresnes fait partie des ouvrages prévus par les lois des 6 avril 1878 et 21 juillet 1880 pour assurer à la Seine, entre Paris et Rouen, un mouillage minimum de $3^{m},20$, permettant d'employer en toute saison des bateaux de 3 mètres de tirant d'eau [1].

Il n'existe pas encore de bateaux de ce type, ils seraient trop grands pour les canaux et rivières et trop petits pour tenir la mer; mais en attendant qu'on en construise, l'augmentation de tirant d'eau de la basse Seine aura au moins pour résultat d'assurer un mouillage suffisant sur cette rivière, où les bateaux de plus de $1^{m},50$ de tirant d'eau ne sont pas encore sûrs de passer en tout temps en aval de Meulan, car ce tirant d'eau n'a pas toujours été atteint en juillet et août 1884.

Le projet approuvé par la loi de 1878 supposait qu'on conserverait sans les modifier: l'écluse de Suresnes et les barrages de Suresnes, Neuilly et Levallois, construits en 1866-67, par MM. Beaulieu, ingénieur en chef, et Savarin, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées,

1. Voir : A. — La carte de la Seine publiée par M. Vuillaume, chez Andriveau-Goujon, rue du Bac. Elle indique l'emplacement des barrages de Paris à Rouen et les niveaux de leurs retenues sur le profil en long.

B. — *Journal officiel*, 21 janvier — 23 février — 16 mars — 29 mars — 2 avril — 24 mai 1878 — 14 février 1880, etc., etc...

C. — Mémoires de MM. Poirée, Belgrand, Krantz, *Annales des ponts et chaussées*, mémoires de MM. Aristide Dumont, Bouquet de la Grye, etc., etc. intitulés : *Paris, port de mer.*

et qu'on construirait seulement à Neuilly, à côté du barrage de Levallois, une écluse plus profonde, mais plus petite que celle de Suresnes. L'écluse de Neuilly aurait servi aux bateaux spéciaux de la basse Seine de 3 mètres de tirant d'eau, et celle de Suresnes serait restée consacrée aux bateaux des canaux, qui ne calent jamais plus de 2 mètres.

Mais on n'aurait pas obtenu ainsi plus de 2 mètres de profondeur en amont du Pont-Neuf et de l'écluse de la Monnaie, et il aurait fallu abaisser les buscs de l'écluse d'entrée en Seine du canal Saint-Martin et de l'écluse de Charenton, où il n'y a même pas 2 mètres en basses eaux; c'est pourquoi le conseil général du département de la Seine, en votant au moment des enquêtes de 1876 une contribution à la dépense des travaux d'approfondissement de la Seine de Paris à Rouen, demanda que le mouillage de $3^{m},20$ fût assuré dans toute la traversée de Paris jusqu'au port de Bercy.

La loi du 21 juillet 1880 accepta cette condition, moyennant une augmentation de la subvention offerte par le département de la Seine, et ordonna la construction d'un nouveau barrage à Suresnes, pour relever les eaux de 1 mètre à Paris.

« La retenue de Suresnes est constituée, dit l'exposé des motifs de la loi (*Journal officiel* du 2 avril 1878, p. 3853), par trois barrages mobiles : l'un contre l'écluse de Suresnes, un autre à l'extrémité aval de l'île Rothschild à Neuilly, et l'autre à Levallois à l'extrémité de l'île de la Grande-Jatte ; les deux barrages extrêmes sont à 4 kilomètres l'un de l'autre. Cet ensemble d'ouvrages ne saurait, dans son état actuel, être approprié à soutenir la retenue surélevée à la cote 27,00 (*les barrages auraient pu résister à la pression de l'eau, mais non les îles sur 4 kilomètres ; et des éclusiers à 4 kilomètres l'un de l'autre s'entendent mal, malgré le télégraphe*) ; aussi remplacerait-on tout ce système par un barrage mobile unique, qui serait accolé à l'écluse actuelle de Suresnes et qui traverserait l'un et l'autre bras de la Seine. L'écluse actuelle serait prolongée à 160 mètres avec abaissement de son seuil et doublée d'une seconde écluse. Les conditions d'écoulement d'un certain nombre d'égouts qui se déversent dans la Seine se trouveront profondément modifiées ; l'on y remédiera par la construction de deux collecteurs qui suivront le fleuve, l'un sur la rive gauche, l'autre sur la rive droite, depuis le pont de Billancourt jusqu'à l'aval du nouveau barrage de Suresnes. »

On remarquera que le projet d'approfondissement de la Seine à

$3^m,20$ était antérieur au vaste programme de travaux publics, qui porte le nom de M. de Freycinet. Il avait été étudié dès 1855 par M. Belgrand et proposé de nouveau en 1869 par M. Krantz.

Si les projets d'amélioration de la Seine, réclamés depuis si longtemps, n'avaient pas été présentés et mis aux enquêtes antérieurement, il est probable qu'à cette époque si favorable aux dépenses de travaux publics, on aurait repris les projets plus vastes qui avaient été étudiés de 1825 à 1830, et qu'on aurait cherché à réaliser le desideratum de Paris port de mer à $4^m,50$ de tirant d'eau et même plus. La dépense de temps et d'argent pour les travaux n'aurait peut-être pas été beaucoup plus grande pour $4^m,50$ que pour 3 mètres de tirant d'eau, surtout si l'on considère les moyens de construction qui ont été adoptés [1].

Le barrage que l'on construit aujourd'hui à Suresnes ne durera peut-être pas plus que celui de 1866-67 ; mais, comme son devancier, il servira au moins d'expérience et conduira peut-être à de nouvelles améliorations et augmentations de mouillage.

La planche n° 82 indique les dispositions adoptées actuellement à Suresnes pour réaliser le programme approuvé par l'administration et par les lois de 1878 et 1880 et donne toutes les dimensions importantes des ouvrages.

Écluses. — La nouvelle écluse, de 160 mètres de longueur sur 17 de largeur, a été établie entre l'ancienne écluse et la rive, elle a été fondée, par épuisements entre batardeaux, sur la couche géologique des argiles plastiques, sur laquelle reposent les graviers d'alluvions de la Seine dans cette région. Les fondations ont été ainsi exécutées à sec à la cote $17^m,50$ dans l'étendue du sas et à la cote $16^m,70$ dans l'emplacement de la chambre des portes d'aval, soit à $9^m,30$ en contre-bas du niveau du bief d'amont et par conséquent du niveau des eaux dans l'ancienne écluse pendant les sassements.

La fouille, dans laquelle on exécutait ces fondations, se trouvait comprise entre le bajoyer de rive de l'ancienne écluse, prolongé en aval par un batardeau, et le talus de la rive gauche entièrement composé

1. Je m'étais efforcé de l'expliquer au ministre des travaux publics, dans une audience qu'il voulut bien m'accorder le 21 septembre 1875, au moment où M. Krantz nommé sénateur inamovible quittait le service de la basse Seine. Mais le ministre d'alors s'intéressait plus aux chemins de fer qu'à la Seine et aux barrages ; il ne voulait pas plus de 2 mètres de tirant d'eau. — La compagnie de l'Ouest se serait probablement contentée de moins encore ; il ne lui déplaît pas que le tirant d'eau soit encore quelquefois inférieur à $1^m,50$ entre l'Oise et Rouen.

de sables et graviers. Derrière ce talus de 13m,30 de hauteur et 8 mètres seulement de largeur à la base, on avait établi tout d'abord le long des écluses un égout collecteur de grande section, qui augmentait encore les dangers d'éboulements. Il est inutile de faire ressortir les difficultés qui sont résultées de ces circonstances et du passage incessant des bateaux dans l'ancienne écluse et le long du batardeau qui la prolongeait. On ne pouvait songer à mettre le bief en chômage, c'est-à-dire à vider le bief de Paris, et l'on a dû se contenter, lorsqu'on craignait des accidents, d'interrompre le passage des bateaux à l'écluse pendant quelques courtes périodes de chômage chaque année, tout en conservant les biefs d'amont et d'aval à leurs niveaux habituels.

Il a fallu recourir à toutes sortes d'étayements et de batardeaux, dont la description nous entraînerait trop loin, et travailler de nuit à la lumière électrique pendant l'arrière-saison de chaque année, pour terminer ce qu'on avait à faire avant les crues. Les nombreux ouvriers travaillant dans les fouilles au milieu des étais, à plusieurs mètres au-dessous des bateaux qui circulaient sur la Seine de l'autre côté des batardeaux, produisaient souvent, par l'effet de la lumière électrique et des oppositions d'ombres et de lumière, des tableaux fantastiques, semblables à des décors d'opéra ou à des vues de diorama.

On doubla notamment l'ancien bajoyer de terre de l'écluse de 1867 par un batardeau en maçonnerie, véritable bajoyer provisoire de la nouvelle écluse, pour construire celle-ci, puis, lorsqu'on put y établir la navigation, on reconstruisit de l'autre côté de ce batardeau, que l'on démolit en ce moment, le bajoyer commun intermédiaire aux nouvelles écluses. La place a néanmoins manqué pour donner à ce bajoyer commun l'épaisseur nécessaire pour qu'on puisse plus tard épuiser une des écluses, tout en laissant passer la batellerie dans l'autre. Cela est très fâcheux, car une réparation importante de l'une des écluses nécessiterait l'interruption complète de la navigation au passage de Suresnes.

Il est vrai que les canaux de Saint-Denis et de Saint-Martin permettent de contourner l'écluse de Suresnes et d'arriver néanmoins à la Villette et à Bercy et que les rivières canalisées chôment chaque année comme les canaux pendant deux ou trois semaines.

L'ancienne écluse a été remise complètement à neuf et ses bajoyers ont été exhaussés ; le parement de son bajoyer du large et le radier ont été réparés ; son ancien bajoyer de terre a été reconstruit ; puis on a

établi un mur de chute à l'aval et construit à la suite, la petite écluse de 3 mètres de tirant d'eau, destinée aux bateaux isolés de 3 mètres d'enfoncement que l'on pourra construire pour profiter du nouveau mouillage. L'écluse de 1867 n'ayant que 2m,20 de profondeur ne pourra recevoir que les bateaux de canaux, mais la grande écluse de rive pourra contenir un train complet de bateaux remorqués par la compagnie du touage ou par tous autres remorqueurs, pourvu que leur tirant d'eau soit inférieur à 3 mètres.

Les deux paires de portes en fer de l'ancienne écluse ont été conservées, mais réparées et exhaussées. Les trois paires de portes neuves sont composées de cadres en chêne, d'entretoises et d'aiguilles verticales en bois de pitchpine et de tirants en fer avec verrins. Des aqueducs larrons, contenant des vannes mobiles, contournent les portes pour activer le remplissage et le vidage des écluses, qui seraient trop lents avec les seules ventelles des portes.

Barrages. — Le barrage est divisé en trois parties ou passes par deux îles.

La passe navigable établie dans le bras gauche a 72m,50 de débouché, la passe surélevée du bras droit de Neuilly 62m,50 et le déversoir 62m,50, dans le bras intermédiaire entre l'île de Puteaux et le petit îlot de la Folie.

Les radiers de ces passes sont établis à 5m,50, 5 mètres et 3m,70 en contre-bas du bief d'amont, la feuille de dessins en indique les dimensions.

Ils ont 15 mètres de largeur suivant le fil de l'eau et 4 mètres d'épaisseur de maçonnerie, non compris les parafouilles d'amont et d'aval descendus un mètre plus bas que le massif général.

Ils sont compris entre deux lignes de palplanches jointives à grain d'orge de 0m,15 d'épaisseur, descendant à 3 ou 4 mètres encore en contre-bas de la fondation des maçonneries.

Ces lignes de palplanches sont reliées par des tirants en fer horizontaux assurant leur écartement, d'autres tirants horizontaux relient les pierres de taille portant les crapaudines d'amont et d'aval des fermettes, enfin des tirants verticaux, avec ancres en dessous des maçonneries, empêchent le soulèvement du seuil.

A l'aval des radiers on a échoué des enrochements sur une longueur de 20 mètres, pour empêcher les affouillements que pourrait produire

la chute de l'eau. Les dix premiers mètres de cet arrière-radier ont été maçonnés à bain de mortier à leur surface, sur un mètre d'épaisseur.

Les radiers ont été tous trois construits à sec, sur la couche des argiles plastiques, par épuisements à l'abri de batardeaux, jusqu'à 10 mètres de profondeur sous l'eau du bief d'amont pour la passe surélevée et pour la passe navigable, située dans le bief d'aval jusqu'à $7^m,50$ de profondeur.

Les mécanismes ont été établis pour les trois passes dans le système des barrages mobiles à fermettes, inventés en 1834 par M. Poirée. Mais au lieu de fermettes de 2 à 3 mètres de hauteur et d'aiguilles en bois, qu'un seul barragiste puisse manier, on a dû établir des fermes en fer de 6 mètres, $5^m,50$ et $4^m,20$ de hauteur, qui supportent des vannes mobiles.

Les fermes se composent de deux montants d'amont et d'aval en fers à U réunis par des tables et formant des caissons, les montants extrêmes sont reliés l'un à l'autre par des entretoises en croix de Saint-André, comme les poutres à treillis.

La difficulté de construction de fermettes aussi hautes tient à leur faible épaisseur comparativement à leur poids ; car, lorsque les fermettes sont abattues sur le radier, il faut que l'épaisseur des engins superposés soit la moindre possible. On a donc cherché à leur donner la plus grande résistance transversale possible, pour la moindre épaisseur, afin d'éviter de les voir se gauchir pendant les manœuvres d'abatage sur le radier et de relèvement.

Ces manœuvres se font au moyen d'une chaîne sans fin manœuvrée de la rive par un treuil, d'après le système imaginé récemment par M. Mégy, constructeur de treuils bien connus.

Pour les vannages, on emploiera des modèles différents dans les différentes passes. Dans l'une on a admis le système de petites vannes glissantes superposées, que j'ai proposé dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1876 (1er semestre, tome XI), et qui a été essayé en 1874 au barrage de Port-à-l'Anglais, et appliqué depuis cette époque au barrage de la Mulatière à Lyon, et aux six barrages de la Moskowa, entre Moscou et Kolumna.

Dans un autre bras on emploiera le système dérivé du précédent, qui a été appliqué au barrage de Villez, près de Vernon, et qui consiste à former un rideau continu de petites poutrelles reliées par des char-

nières, et s'enroulant les unes sur les autres comme les stores des serres d'horticulture.

Dans le premier système tout le débit du fleuve s'écoule en déversoir sur la crête des vannes, tandis qu'avec le second les eaux s'écoulent sous les rideaux, comme par des vannes de fond. Le premier est simple, rustique, solide et peu coûteux ; le second est peut-être perfectionné, mais certainement plus compliqué.

Dans la passe navigable de Suresnes on emploiera à volonté :

Soit 232 petites vannes carrées de $1^m,25$ de côté, formées de simples madriers réunis par des ferrures.

Soit 58 rideaux contenant chacun 84 et ensemble 4,878 petites poutrelles de $1^m,25$ de longueur, $0^m,053$ de hauteur et dont l'épaisseur varie progressivement de $0^m,04$ à $0^m,09$ du sommet du rideau à la base. Ces 4,878 poutrelles, d'une exécution minutieuse, sont reliées par 9,756 charnières en bronze, 9,756 broches en bronze phosphoreux et 19,512 boulons en acier recouverts d'une gaine en bronze, dont il faut mettre deux à côté l'un de l'autre, dans une poutrelle de $0^m,04$ sur $0^m,05$ pour la fixer à ses charnières ; soit en tout 43,902 pièces sans compter les 19,512 écroux des boulons et leurs 19,512 rondelles, ce qui ferait alors 72,926 pièces, dont l'entretien pourra être laborieux, lorsqu'elles auront séjourné dans les eaux de la Seine, chargées de détritus et d'immondices de toutes sortes en aval de Paris, et qu'elles ne seront plus neuves. En outre, chaque rideau porte un lourd sabot en fonte à la base, et il est fixé à un châssis en fer, mobile sur la tête des fermettes et portant des poulies, sur lesquelles s'enroule une chaîne *calibrée* de 14 mètres de longueur, et un coffre en tôle pour recevoir cette chaîne soit encore 116 pièces accessoires pesant 200 kilogrammes chacune.

Les vannes au contraire n'exigent aucun de ces accessoires ; un treuil unique roulant sur la passerelle suffit pour les manœuvrer toutes successivement par l'intermédiaire d'une simple gaffe de marinier.

L'expérience démontrera si la complication des rideaux, construits avec une grande précision, est compensée par une plus grande facilité de manœuvre, vis-à-vis de la simplicité des petites vannes primitives, plus grossièrement faites, moins coûteuses et plus faciles à entretenir et à remplacer ; elle apprendra aussi si le débit en déversoir est préférable au débit par vannes de fond, au point de vue des affouillements à craindre en aval des barrages. Le barrage ne peut, en effet, que

relever les eaux à un niveau déterminé; il ne change rien au débit de la Seine, *sauf pendant quelques heures, lorsqu'on vient de l'ouvrir ou de le fermer*, et il doit laisser passer tout le volume d'eau qui coule naturellement dans le fleuve.

Exécution des travaux. — Les travaux de Suresnes ont été entrepris au mois de mai 1880.

En 1880 on a exécuté :

1° La maison des éclusiers, pour remplacer l'ancienne qui se trouvait dans l'emplacement adopté pour la grande écluse;

2° Le grand égout collecteur sous la route longeant les écluses;

3° Le nouveau port de Suresnes en amont du pont, pour remplacer celui que la nouvelle écluse obligeait à supprimer;

4° Enfin la partie aval de la grande écluse, depuis l'aval jusque près de l'ancienne écluse.

Cette première campagne ne dura que de mai à octobre. Un accident survenu le 23 septembre au batardeau avait fait cesser les épuisements, puis la crue survint au commencement d'octobre; enfin l'entrepreneur général, M. Denuelle, malade depuis longtemps, mourut au même moment. Le passage de l'écluse avait dû être interdit du 7 au 11 octobre pour éviter de graves accidents.

Les travaux furent soumis à une nouvelle adjudication et ne furent repris qu'au mois de mai 1881, par MM. Capy et Belanger, entrepreneurs. On exécuta en 1881 : le bajoyer de rive gauche de la grande écluse, sa tête amont, une certaine longueur de murs de quais en amont et enfin le bajoyer provisoire ou batardeau en maçonnerie le long de l'ancienne écluse. La navigation fut interdite dans l'écluse à plusieurs reprises, mais chaque fois pendant très peu de temps : du 14 au 18 mai, du 15 au 24 juillet et du 13 au 15 octobre 1881, par suite de divers incidents provenant des difficultés de construction indiquées plus haut.

En 1882 on termina la grande écluse et son bajoyer provisoire du large, ainsi que tous les murs de quais; la grande écluse fut livrée à la navigation le 7 juillet 1882 et la route nationale 187, qui formait le talus de la fouille depuis deux ans, fut rendue à la circulation le 1er septembre.

Pendant la même année 1882, MM. Claret et Lillaz adjudicataires du second lot de travaux, entreprirent au mois de mai la construction

de la moitié rive droite du barrage du bras gauche, puis celle de la petite écluse et de la deuxième moitié du barrage, dès que la grande écluse eut été livrée à la circulation et la première partie du barrage achevée.

Une grande crue de la Seine, comparable aux plus grandes crues du siècle, arrêta les travaux en octobre et couvrit tous les batardeaux pendant l'hiver 1882-83. L'écluse avait été interdite à la navigation du 25 septembre au 25 octobre 1882.

En 1883 l'entreprise Claret et Lillaz continua la construction de la petite écluse, termina la construction du grand barrage du bras gauche, et exécuta entièrement le déversoir entre les îles de Puteaux et de la Folie. Les écluses ont chômé du 15 juin au 15 juillet.

En 1884 on a achevé la petite écluse et réparé l'ancienne, puis on a établi la navigation dans ces écluses, pour démolir le bajoyer provisoire qui rétrécit encore la grande; ce travail sera achevé pendant le chômage du 15 août au 15 septembre.

On a construit en même temps en 1884 le barrage du bras droit, et tous les travaux seront terminés cette année avant l'arrivée des crues; le nouveau barrage et les nouvelles écluses fonctionneront dès le commencement de 1885.

Les portes en bois des nouvelles écluses ont été construites par M. Crépin, entrepreneur à Abbeville.

Les portes en fer de l'ancienne écluse, construites par M. Durenne de Courbevoie, ont été réparées et exhaussées par lui.

Les fermettes, rideaux et vannes ont été construits par MM. Joly à leur usine d'Argenteuil.

Enfin les appareils de manœuvre des fermettes : treuils et chaînes, ont été construits par M. Mégy, qui les a imaginés, à l'usine de MM. Sautter-Lemonnier à Grenelle.

Les ingénieurs et conducteurs des ponts et chaussées chargés des études, projets et travaux sous ma direction ont été :

Ingénieur ordinaire. — M. Nicou, puis M. Luneau depuis le 1er juillet 1883.

Conducteur, chef de chantier. — M. Bosselet, conducteur principal des ponts et chaussées, puis M. Lemoine depuis le 1er novembre 1883.

Conducteurs adjoints successivement au chef de chantier. — MM. Lesage, Thierot, Fermine et Bachelet, conducteurs des ponts et chaussées.

II. — ÉCLUSES DE BOUGIVAL

Les nouvelles écluses de Bougival font partie des ouvrages prévus par la loi du 6 avril 1878 pour donner 3m,20 de mouillage à la Seine.

Le niveau du bief de Suresnes à Bougival ne doit pas être modifié et des dragages en cours d'exécution suffiront pour approfondir ce bief à 3m 20 sous la retenue constituée par les barrages de Bezons et Marly. Les dessins ci-joints montrent même que les buscs d'aval des nouvelles écluses de Suresnes sont établis à 4 mètres sous la retenue de Bezons, et cela à cause du niveau de la couche d'argile sur laquelle elles sont fondées. Il suffirait donc de draguer encore le bief de 0m,80 pour assurer 4 mètres de mouillage depuis l'écluse de la Monnaie à Paris jusqu'à celle de Bougival.

L'ancienne écluse de Bougival a été construite à côté de la machine de Marly en 1838-39 par M. Poirée, qui avait inventé les barrages mobiles quelques années auparavant (loi du 18 juillet 1837). On construisit en même temps le barrage de Bezons, pour fermer l'ancien pertuis à-chute de la Morue, établi en 1685 en même temps que la machine de Marly et qui permettait seul, avant 1839, de franchir dans le bras droit la chute produite par la machine qui barrait le bras gauche. On employait souvent jusqu'à 40 chevaux pour hâler un bateau à ce passage.

Les fermettes de ce premier barrage mobile de la Seine avaient 2m,20 de hauteur; en 1865-67 on le reconstruisit avec des fermettes de 3m,30 de hauteur pour porter à 2 mètres entre Paris et l'Oise le tirant d'eau de la Seine fixé à 1m,60 par la loi du 31 mai 1846 (décrets des 11 décembre 1864 et 11 août 1866).

La machine de Marly qui barre le bras gauche de la Seine à Bougival depuis 1685 a été reconstruite en 1855-59 sous la direction de M. Belgrand et de M. Dufrayer, elle comprend aujourd'hui 6 roues à aubes d'environ cent chevaux chacune.

Ces six roues marchant ensemble n'emploient qu'une faible partie du débit de la Seine, 18mc par seconde, avec une chute maxima de 3m,15, soit 56,700 kilogrammètres ou 756 chevaux; elles peuvent élever 280 litres d'eau par seconde aux réservoirs de Louveciennes à

166 mètres de hauteur, soit 46,480 kilogrammètres ou 620 chevaux; ce qui donne un rendement de 82 pour 100.

Cette machine était accompagnée d'un déversoir fixe et de 6 pertuis fermés par des poutrelles. De 1865 à 1868 le déversoir a été surmonté de fermettes mobiles, en même temps qu'on exhaussait le barrage de Bezons, et en 1881 les poutrelles des pertuis, qu'on ne pouvait plus manœuvrer depuis l'augmentation de la chute, ont été remplacées par des vannes mobiles sur un axe vertical, semblables aux portes des bassins de chasse des ports de mer.

Les nouvelles écluses de Bougival ont été construites de 1879 à 1883, le plan ci-joint montre l'emplacement des divers ouvrages.

Trafic de la navigation de la Seine. — Le trafic de la batellerie est très important à Bougival, car il comprend tous les bateaux venant de la basse-Seine et de l'Oise, qui se séparent ensuite, pour remonter à Paris : les uns par l'écluse de Suresnes et les autres par le canal Saint-Denis.

Ainsi, il est passé en 1882 à Bougival :

15,400 bateaux, portant 1,970,000 tonnes de marchandises;

5,980 de ces bateaux, portant seulement 715,000 tonnes, étaient passés à l'écluse de Carrières-sous-Poissy et le reste venait de l'Oise;

En amont, 13,300 bateaux, portant 1,250,000 tonnes, sont passés à Suresnes, le complément a suivi le canal Saint-Denis, ou a été débarqué entre Bougival et Suresnes.

Le trafic déjà si grand à Bougival, augmentera certainement beaucoup, lorsque les travaux de canalisation seront terminés de l'Oise à Rouen, comme ils vont l'être à la fin de 1884 de Paris à l'Oise, car le tirant d'eau est encore très faible aujourd'hui entre Meulan et Mantes pendant les basses eaux; il est descendu à moins de $1^m,50$ dans cette partie du fleuve pendant les mois de juillet et août 1884.

C'est l'importance de ce trafic qui a fait adopter des dispositions exceptionnelles à Bougival.

L'ancienne écluse qui a suffi jusqu'en 1883 au trafic, mais non sans lui imposer très souvent des retards, et dont le mouillage ne descend jamais à moins de 2 mètres est conservée, on a établi à côté une petite écluse de 50 mètres de longueur sur 8 mètres de largeur avec $3^m,20$ de tirant d'eau pour les bateaux express marchant isolément, puis une grande écluse de $3^m,20$ de tirant d'eau

également pour les trains remorqués. Celle-ci peut recevoir à la fois plusieurs convois remorqués, ou le plus grand convoi de la Compagnie du touage. Le sas a 220 mètres de longueur utile sur 17 mètres de largeur, et contient en une seule éclusée jusqu'à 18 péniches des canaux du Nord.

Manœuvres hydrauliques des écluses. — Pour activer les manœuvres au passage de cette écluse, on a établi des appareils hydrauliques, comprenant : deux turbines du type Fontaine-Baron de 14 chevaux chacune, mues par la chute du barrage; des pompes foulantes, un accumulateur de 0,45 de diamètre et 5 mètres de course, pouvant contenir 700 litres d'eau, sous la pression de 60 atmosphères; des conduites d'eau traversant les écluses en siphon; des presses hydrauliques pour manœuvrer les huit portes des écluses et les huit vannes des aqueducs de remplissage et vidage des écluses; et enfin 10 cabestans hydrauliques pour le halage des bateaux au passage des écluses. La puissance de chaque cabestan est de 6,40 chevaux-vapeur, et produit une traction de 1,200 kilos à la vitesse de $0^{m},40$ par seconde sur les remorques de bateaux qu'on y enroule.

Ces appareils hydrauliques ont été construits par l'usine de Fives-Lille, d'après un projet dressé par M. Barret, ingénieur des docks de Marseille, sous le contrôle de M. de Préaudeau, ingénieur ordinaire du service de la Seine.

Les portes des écluses de Bougival sont en bois et semblables à celles de Suresnes, elles ont été construites par le même entrepreneur M. Crépin, à Abbeville, qui a établi aussi les vannes tournantes du pertuis de la machine de Marly.

Exécution des travaux. — Les écluses de Bougival ont été construites par MM. Créteaux père et fils, entrepreneurs, sous la surveillance de mon collaborateur M. de Préaudeau, ingénieur ordinaire, remplacé depuis le 1er juillet 1883, successivement par MM. Goupil, Debray et aujourd'hui par M. Jozan, et de M. Moreau, conducteur principal des ponts et chaussées.

Les sondages exécutés pour la rédaction du projet, avaient fait reconnaître à Bougival un fond de sables et graviers reposant sur la craie, et l'on avait espéré pouvoir exécuter tous les travaux à sec par épuisements à l'abri de batardeaux, comme à Suresnes, en fondant les

têtes des écluses et les parafouilles sur la craie et les bajoyers sur le gravier.

On n'aurait mis dans les sas, comme on l'a fait à Suresnes et à Carrières-sous-Poissy, qu'un mince radier de 0,80 d'épaisseur, destiné à empêcher les affouillements, mais non à résister aux sous-pressions, et percé de trous pour éviter qu'une pression hydraulique ne s'établisse en dessous.

Mais, dès la première campagne de 1879, on reconnut que le terrain de fondations était criblé de sources de fond et sans consistance, soit que la craie fût molle et pâteuse, soit que le terrain ait été remanié, affouillé, puis remblayé, par tous les travaux de la machine de Marly depuis 1685.

On dut se résigner au prix d'une très grosse dépense à draguer d'abord l'emplacement des écluses, et à l'entourer de pieux et palplanches, pour y couler un massif général de bétons de fondations de 4^{m},50 d'épaisseur sous les têtes et parafouilles et de 3^{m},50 sous le sas. Ce radier général a été descendu jusqu'à 7^{m},50 sous l'eau du bief d'aval, puis on a établi les maçonneries sur les bétons, à l'aide de batardeaux et d'épuisements jusqu'à plus de 4 mètres sous l'eau du bief d'aval.

Il y a plus, le bajoyer droit de la grande écluse est isolé en rivière, et supporte une chute de 3^{m},20 de l'intérieur à l'extérieur, lorsque l'écluse est pleine; or le terrain de fondations s'est trouvé particulièment mauvais et peu résistant dans cet emplacement et l'on a été obligé, non seulement d'élargir le radier général de fondations, jusqu'à 7 mètres au delà du parement extérieur du bajoyer du large, mais d'établir ce radier sur des pilotis. Lorsqu'un bajoyer en rivière supporte la chute de l'intérieur à l'extérieur de l'écluse, le radier de celle-ci ne suffit pas, il faut le prolonger au large du bajoyer.

Avant de couler les bétons de cette partie des fondations à 7^{m},50 sous l'eau, on a battu en dessous 300 pieux de pilotis de 7^{m},50 de longueur, descendant ainsi jusqu'à 15 mètres sous le niveau des eaux du bief d'aval.

Les fouilles des écluses ont été exécutées en 1879 et 1880, les bétons ont été coulés en 1880-1881 (on a pu arriver non sans peine à en couler 300 mètres par jour au maximum dans la période la plus active du travail), enfin en 1881, 1882 et 1883, on a établi les maçonneries et toutes les constructions fixes et mobiles, et les écluses ont été livrées à la navigation le 6 novembre 1883.

III. — UTILISATION DE LA CHUTE DES BARRAGES EN RIVIÈRE

Nous avons fait remarquer que l'usine de Marly peut utiliser 600 chevaux de force fournis par la Seine, qu'on a établi en outre, pour les manœuvres hydrauliques des nouvelles écluses, deux turbines qui utilisent encore 14 chevaux chacune et que cependant la puissance totale de la chute de Bougival est encore bien loin d'être utilisée complètement.

A Suresnes la chute sera de $3^m,30$ et le débit de la Seine ne descend que tout à fait exceptionnellement au-dessous de 60 ou 80 mètres cubes par seconde. Avec un débit de 50 mètres cubes seulement, déduction faite des pertes des vannages mobiles, on aurait à Suresnes comme à Bougival une force disponible minima de 165,000 kilogrammètres par seconde ou 2,200 chevaux-vapeur. Après avoir établi les récepteurs hydrauliques nécessaires, il resterait pour utiliser ces forces à les transporter à Paris, soit par l'électricité, soit par des tuyaux de conduite, au moyen de l'eau mise en pression sous des accumulateurs, car la question de savoir lequel de ces deux procédés serait préférable ne me paraît pas résolue. En tous cas, la dépense de premier établissement serait grande et le rendement peut-être faible ; mais ne fût-il que de 25 pour 100, il resterait bien encore 600 chevaux-vapeur utilisables à Suresnes comme à Marly et cela mériterait d'être essayé.

On avait anciennement pour but principal, sinon unique, en construisant des barrages sur les rivières, de créer des chutes d'eau pour en utiliser la chute.

Ces ouvrages comprenaient, en dehors du moulin : une digue pleine, en terre, pilotis et enrochements, ou même en maçonnerie, établie en travers de la rivière, et dont une partie au moins constituait un déversoir de superficie ; quelques vannes de fond pour régler le débit des eaux ; et enfin pour laisser passer la batellerie, un simple et étroit pertuis à chute, dont la largeur avait été fixée au minimum de 24 pieds ($7^m,80$) par l'article 5 de l'ordonnance de décembre 1672.

Ce n'était pas sans peine que les bateaux franchissaient ces barrages, dont l'ancienne machine de Marly et le pertuis de la Morue, aujourd'hui remplacé par le barrage de Bezons, offrirent un exemple à proximité de Paris de 1685 à 1837.

Ces moulins primitifs qui mettaient en mouvement des roues à grande vitesse recevant le choc de l'eau et dénommées tournants, entravaient la navigation et augmentaient le niveau des inondations.

On les a supprimés successivement dans l'intérêt de la batellerie, puis l'invention presque simultanée (en 1834) des barrages à fermettes par M. Poirée et des barrages à vannes mobiles sur un axe horizontal par M. Thénard, a changé complètement la question en permettant d'assurer un tirant d'eau suffisant à la navigation pendant la saison sèche, sans laisser subsister en rivière pendant les crues aucun obstacle au libre écoulement des eaux, ni même au passage des bateaux.

Les inventions de MM. Poirée et Thenard ont été suivies d'autres, les barrages mobiles ont été successivement perfectionnés par MM. Chanoine, Desfontaines, Krantz, Tavernier et autres membres du corps des ponts et chaussées. Dans la séance du 8 août 1878 du congrès international du génie civil [1], dont j'avais l'honneur d'être vice-président, il m'était permis de dire : que si les discussions, souvent mêlées de préoccupations personnelles, des inventeurs de barrages mobiles, avaient quelquefois compliqué la question de la canalisation des fleuves et rivières navigables, les types de barrages abondent aujourd'hui et l'on n'a plus qu'à choisir celui qui convient le mieux à chaque cas particulier. Mais on peut encore regretter aujourd'hui, comme je le faisais alors, que les chutes créées pour les besoins de la navigation ne soient pas utilisées par l'industrie et l'agriculture.

Il n'y a plus guère d'usines hydrauliques que sur les petits cours d'eau, il en existe à peine quelques-unes sur les rivières navigables. Sur les vingt et un barrages que l'on a construits successivement sur la Seine depuis 1837 et surtout depuis 1860 entre Montereau et Rouen, et dont la chute totale dépasse 45 mètres, la seule chute utilisée est celle de Marly où l'on n'utilise pas, lorsque toutes les roues fonctionnent et cela est rare, le tiers du débit disponible avec 3 mètres de chute, pour produire 600 chevaux de force ; il reste donc sur la Seine seulement plus de 20,000 chevaux-vapeur à utiliser.

Il en est à peu près de même sur la Marne où sauf les usines de Saint-Maur, d'Ile-les-Meldeuses et de Trilbardou, construites pour le

1. Voir Comptes rendus sténographiques des congrès et conférences de l'exposition universelle de 1878, n° 12 de la série. Imprimerie Nationale, 1880.

service des eaux de la ville de Paris, il n'existe que quelques anciens moulins, dont l'existence légale a été reconnue, soit que leur concession fût antérieure à l'édit de Moulins de février 1566, soient qu'ils aient été vendus par l'État comme biens nationaux.

Il semblerait que les besoins de la navigation, la complication des règlements administratifs (circulaire du 23 octobre 1851), le prix encore bas du charbon de terre et de la force produite par machine à vapeur, et, peut-être aussi, les chômages inévitables pendant les crues et la variabilité du débit et de la chute des barrages mobiles, suivant l'abondance naturelle des eaux, ne permettent pas d'utiliser la force latente des rivières navigables.

Je ne partage pas cette opinion, je crois que le progrès continu des constructions hydrauliques, mécaniques et métalliques permet aujourd'hui de construire près des écluses, des moulins qui utilisent leur chute sans gêner la navigation ni augmenter les inondations. J'ai insisté sur ce point au congrès de 1878 et je l'avais déjà fait remarquer incidemment il y a plus de dix ans, à propos de la force motrice du barrage de Port-à-l'Anglais, lorsque j'ai rendu compte, dans les *Annales des ponts et chaussées* [1], de la construction de cet ouvrage, dont la hauteur de retenue n'a encore pas été dépassée, que je sache, dans aucun autre barrage mobile, mais le sera prochainement à Suresnes, et lorsque j'ai proposé une amélioration des barrages mobiles à fermettes, qui, après avoir été expérimentée à Port-à-l'Anglais en 1874 et appliquée à Lyon et en Russie, va l'être à Suresnes. Il est vrai que j'avais cru devoir retrancher de ma rédaction primitive les réflexions ci-après qui n'auraient pas été à leur place dans un recueil technique et officiel surtout au lendemain du 24 mai 1873.

En utilisant les chutes des barrages on pourrait peut-être contre-balancer, plus facilement qu'en entravant le commerce international par des droits protecteurs [2], la supériorité qu'à la tribune française, lors de la discussion sur les tarifs à imposer aux matières premières, on attri-

1. *Annales des ponts et chaussées*, 1873, t. V; 1876, t. XI.

2. Les ingénieurs sont naturellement libre-échangistes, ils ne craignent pas, ils se font même gloire, de bouleverser les conditions géographiques par l'ouverture de voies nouvelles pour diminuer les frais de transports, puis ils s'étonnent profondément qu'une barrière de douane vienne fermer la voie qu'ils avaient ouverte et annuler les résultats qu'ils étaient fiers d'avoir obtenus, mais qui lésaient certaines situations anciennes, c'est-à-dire le monopole de fait de quelques industries qui considéraient leur situation privilégiée comme un droit acquis et imprescriptible.

buait aux industries de l'Angleterre, de la Belgique et de la Suisse à cause des mines de houille des premiers et des chutes d'eau du troisième pays.

Il me paraît probable que les fleuves à grand débit de la France, s'ils étaient convenablement aménagés, produiraient plus de force motrice que les torrents à forte pente mais à faible débit de la Suisse, et que cette force équivaut à une grande production de charbon de terre. Une usine hydraulique établie à Port-à-l'Anglais pourrait remplacer une machine à vapeur de mille chevaux environ ; la puissance de ce barrage est donc équivalente à celle d'un puits de mine, d'où l'on extrairait chaque année environ quinze mille tonnes de houille, et pour produire la même force motrice il faut dépenser environ cinq cent mille francs de combustibles par an.

La nature a accumulé à notre profit pendant les milliers de siècles qui ont précédé l'apparition de l'homme sur la terre, une précieuse réserve de combustibles, que l'on use sans compter, pour produire de la force motrice, comme on use encore le bois en Russie, et comme si la houille était inépuisable ou pouvait se reproduire. Il faut pourtant prévoir, que si la consommation continue à s'accroître, le prix des combustibles s'élèvera un jour et il convient de songer à l'avenir et de se préparer à construire les machines qui utiliseront les forces naturelles, lorsqu'il faudra réserver la houille pour les usages auxquels elle est plus nécessaire que pour les machines fixes. Il est probable que l'on entrera dans cette voie lorsqu'on pourra consacrer des crédits plus importants à l'amélioration des rivières et à l'aménagement des eaux, c'est-à-dire, lorsque la fondation définitive du régime libéral aura rétabli le véritable ordre et les finances publiques malgré les désastres de la guerre, qui a causé d'irréparables pertes à la France, mais par un juste retour a emporté le régime impérial qu'elle avait pour but de consolider. Et il faut remarquer que l'aménagement de toutes les rivières de France n'exigerait pas de dépenses aussi grandes qu'une guerre ou une révolution, ou même que la construction du réseau des chemins de fer.

C'est à la même époque de 1873 que M. Krantz présentait à l'Assemblée nationale les remarquables projets d'amélioration du réseau de nos voies navigables, dont M. de Freycinet a fait entreprendre l'exécution en 1878. Il est vrai qu'on a, cette fois encore, consacré la plus grande partie des crédits disponibles aux chemins de fer, la plus

faible aux voies navigables et bien peu de chose à l'aménagement et à l'utilisation des eaux.

D'après le tableau récapitulatif des actes législatifs et dépenses concernant les travaux extraordinaires, publié par le Ministère des Travaux publics (mai 1876, Imprimerie Nationale) les dépenses faites de 1814 à 1870 pour l'amélioration des voies navigables sont les suivantes :

Rivières	269.003.930 fr.
Canaux	480.793.561
Ports maritimes.	390.722.514
Total. . . .	1.140.520.005

D'autre part on trouve dans le bulletin mensuel du mois d'avril 1884 du Ministère des Travaux publics (Imprimerie Nationale) qu'il a été dépensé de 1870 au 31 décembre 1883 pour les voies navigables :

Rivières	158.416.250 fr.
Canaux	236.904.580
Ports maritimes.	256.515.500
Total. . . .	651.836.330

soit en tout pour les voies navigables et ports maritimes de 1814 à 1884 . . . . 1.792.356.335 fr.

Quant aux chemins de fer, le bulletin du Ministère des Travaux publics du mois d'avril 1883 donne pour les dépenses faites par l'État et les compagnies pour le premier établissement des chemins livrés à l'exploitation au 31 décembre 1880 . . . 10.185.021.864

et le bulletin de mai 1883 indique pour les dépenses d'établissement au 31 décembre 1882, des chemins de fer non livrés à l'exploitation au 1er janvier 1880 . . . . . 1.362.093.000

Total 11.547.114.864

Les dépenses extraordinaires faites depuis 1880 pour l'amélioration des rivières navigables ne dépassent donc guère le dixième de celles qui ont été faites pour le réseau des chemins de fer dans cette période. Depuis 1814, on a dépensé pour les chemins de fer vingt-sept fois plus

que pour la canalisation des rivières. Enfin le total des dépenses extraordinaires de travaux publics depuis 1814 ne s'élève pas à 13 milliards et demi et atteint par conséquent à peine le chiffre des pertes résultant de la seule guerre de 1870.

La navigation de la Seine a été particulièrement favorisée depuis longtemps par le budget, en même temps que l'Oise, les canaux du Nord et le canal de l'Est. Les résultats obtenus ont été du reste *très remarquables*, le trafic augmente continuellement sur la Seine malgré la concurrence des chemins de fer parallèles.

Nous avons indiqué plus haut le trafic à Suresnes, Bougival et Poissy; en amont de Paris il est passé en 1882, à Port-à-l'Anglais, 29,800 bateaux portant 2,400,000 tonnes de marchandises et il n'y a qu'une seule écluse sur ce point de la Seine. La Seine seule a donc amené à Paris en 1882 par l'amont 2,400,000 tonnes et par l'aval 1,970,000 tonnes soit en tout 4,370,000 tonnes, et comme les bateaux déchargés à Paris retournent presque tous à vide, on peut dire que les ports de la Seine ont à Paris un tonnage *de jauge* de plus de 8 millions de tonnes.

Les écluses établies en 1860 entre Paris et Corbeil ne suffisent plus au trafic, le moindre accident y arrêterait la navigation, un projet a été préparé, approuvé en principe par l'administration et soumis aux enquêtes pour doubler ces écluses; mais il s'agit de six millions et l'état du budget ne paraît pas permettre au Parlement d'approuver cette dépense.

Si la dépense de six millions est en ce moment trop forte, on peut la réduire au tiers en n'exécutant que l'écluse la plus utile, la plus voisine de Paris, celle de Port-à-l'Anglais ; car elle est plus encombrée que celles d'Ablon et d'Évry ; cela vaudrait mieux que d'ajourner les trois comme la Chambre des députés paraît vouloir le faire.

Paris et même la Seine risquent de manquer d'eau, car il ne suffit pas de construire des barrages, encore faut-il avoir assez d'eau pour tenir les biefs pleins et pour y entretenir un petit courant pendant les sécheresses, afin que l'eau n'y croupisse pas.

Amener à Paris les eaux de sources par des aqueducs, ou élever celles du fleuve par des machines suffit aux Parisiens ; mais ce n'est pas le moyen d'augmenter le débit d'étiage de la Seine ; cette eau, prise à la Seine ou à ses affluents, en amont de Paris, à raison de 450,000 mètres cubes par jour ne passe plus sous les ponts de Paris, elle ne retourne

au fleuve qu'à l'état d'eaux vannes par l'égout collecteur à Asnières. Paris verse à la Seine toutes ses immondices à Clichy et presque toutes ses vidanges à Saint-Denis où aboutit l'égout de trop-plein des dépotoirs de Bondy, *toujours trop pleins*, de sorte que si on discute *le tout à l'égout*, *le tout à la Seine existe*, au profit des riverains en aval de Saint-Denis : à Bougival, Croissy, le Pecq, Maisons-Lafitte, etc., etc. Les eaux sont maintenant infectées, le lit et les berges du fleuve sont couverts de vase jusqu'à Mantes et même jusqu'à Vernon et dans une année de basses eaux exceptionnelles comme en 1858 ou 1870, la Seine pourrait ne pas débiter plus de 40 mètres cubes entre Saint-Denis et l'Oise et elle contiendrait plus de 10 pour 100 d'eaux vannes ou de vidanges.

Que faut-il pour remédier à cette situation, qui serait désastreuse si une épidémie de choléra ou seulement de fièvre typhoïde venait à coïncider avec des eaux très basses : quelques millions pour envoyer les déjections de Paris et ses vidanges ailleurs qu'à la Seine et pour construire dans la vallée granitique de la haute Yonne quelques réservoirs *projetés depuis* 1845 pour retenir les eaux des crues et les écouler à l'époque de l'étiage.

Mais la construction des chemins de fer absorbe tous les fonds disponibles, ils ne craignent pas de manquer de houille, elle alimente même leur trafic, tandis que la navigation leur ferait concurrence; enfin la houille est encore à bas prix. Le moment ne paraît pas encore venu d'utiliser complètement les rivières pour la navigation, l'industrie et l'agriculture; la machine à vapeur prime la roue hydraulique et cependant les machines hydrauliques sont plus perfectionnées que les machines à vapeur. On se préoccupe souvent beaucoup trop du rendement, de l'effet utile, des roues hydrauliques et du transport des forces par l'électricité. Une turbine utilise 60 pour 100 de la force d'une chute et l'on craint d'en perdre les trois quarts en transportant cette force par l'électricité, cela fût-il exact qu'il resterait encore un effet utile de 15 pour 100. Que donne donc une machine à vapeur? Elle consomme par heure 2 kilogrammes de houille, soit 10,000 calories ou 4,250,000 kilogrammètres pour produire un cheval, c'est-à-dire 75 kilogrammètres par seconde ou 270,000 par heure; son rendement n'est donc que de 6 pour 100. Et si on suppose qu'on transporte la force hydraulique au loin, il faudrait compter le transport de la houille à la machine à vapeur, ce qui est, il est vrai, le moyen

le plus économique de transporter de la force. Mais la mine qui alimente la machine à vapeur s'épuise, la chute qui fait tourner la roue hydraulique ne s'épuise pas.

Il est vrai qu'il est difficile d'établir une usine hydraulique importante sur une rivière, pour utiliser tantôt 3 mètres de chute avec 50 mètres cubes de débit et tantôt $0^m,50$ de chute avec 300 mètres cubes de débit, sans encombrer la rivière par des constructions de nature à augmenter la hauteur des crues, ou sans creuser à travers des terrains de grande valeur, la plupart du temps couverts de constructions, des canaux d'amenée et de fuite presque aussi larges que la rivière elle-même, pour conduire les eaux au récepteur hydraulique et les évacuer ensuite.

Cette question me préoccupe depuis bien longtemps, car voilà vingt-huit ans que je m'occupe exclusivement de navigation et de barrages, n'ayant jamais cessé d'être attaché comme ingénieur au service de la Seine depuis 1856. Je crois aujourd'hui être en mesure de résoudre la difficulté, par une combinaison de moyens connus et tous consacrés pour l'expérience, en faisant subir aux anciens moulins hydrauliques une transformation analogue à celle que MM. Poirée, Thenard et autres ont fait subir aux anciens barrages, c'est-à-dire en rendant les moulins eux-mêmes mobiles et en les enlevant du lit de la rivière pendant les grandes crues, alors qu'ils chômeraient en tous cas faute de chute.

NOTE

SUR

LA CONFÉRENCE FAITE PAR M. COUCHE

Bien peu de personnes se doutent de la somme et de la continuité des efforts nécessaires pour arriver, sans trop d'exceptions, à ce résultat si simple en apparence, que tout robinet ouvert donne de l'eau, et toujours celle qu'il doit fournir.

Voici cependant, pour la ville de Paris, ce que ce résultat suppose :

Nuit et jour, cinquante machines échelonnées jusqu'en Champagne et représentant une force totale de six mille chevaux (3,500 chevaux en eau montée) ont dû être tenues, la plupart, en marche permanente, les autres prêtes à y entrer au premier signal. De nombreux réservoirs ont emmagasiné pendant la nuit, l'eau qui va être consommée pendant le jour. Des centaines d'ouvriers sont restés occupés sans relâche à la visite et à l'entretien de plus de 400 kilomètres de dérivation et d'une canalisation intérieure qui, développée, irait de Paris à Bucharest. Les milliers de robinets de cette canalisation ont donné lieu à d'innombrables manœuvres faites par un personnel spécial pour plier le service à l'incessante mobilité de la consommation.

Dans tout ce mouvement, s'il y a eu de l'unité, c'est que le télégraphe n'a cessé de transmettre des extrémités au service central, et du centre aux extrémités, les renseignements et les instructions déterminant, en quelque sorte, heure par heure, le jeu de ce grand clavier, dont certaines touches principales sont à plus de 160 kilomètres de Paris.

La ville de Paris fait elle-même et entièrement l'exploitation du service des eaux de manière à n'avoir à compter qu'avec l'intérêt public. Mais, chose singulière, la majorité du public est absolument convaincue du contraire.

Il a suffi, pour que cette erreur se répande et s'enracine, que, dans l'ensemble du service, une tâche purement matérielle, le soin de faire signer les polices, d'établir les prises pour chaque maison et d'encaisser les abonnements pour le compte de la ville, moyennant commission, fût confiée à la Compagnie générale des eaux.

C'est la ville qui s'alimente d'eau, c'est elle qui construit et entretient les dérivations, les réservoirs, les conduites de distribution, elle qui établit les usines élévatoires et qui les exploite. C'est d'elle seule, en un mot, que dépendent et l'alimentation et la distribution.

Il y a trente ans, Paris n'avait, pour tous les usages indistinctement, que les eaux du canal de l'Ourcq et le produit de trois petites usines puisant en Seine, le tout devant fournir, en théorie, 140,000 mètres cubes par jour, et n'en donnant, en fait, que la moitié : c'était une alimentation de 60 litres par tête.

Aujourd'hui, au lieu de 70,000 mètres cubes, on peut en distribuer 500,000, c'est-à-dire que, bien que la population ait doublé, la quantité d'eau disponible par tête s'est élevée de 60 à 220 litres.

Enfin les usages domestiques sont servis en eaux de source toujours limpides, fraîches en toute saison, et soustraites à toutes chances de contamination.

L'origine de ces résultats est la démonstration faite, il y a trente ans, par M. Belgrand, de la nécessité résultant pour la ville de Paris de sa situation topographique, de séparer le service public qui peut, sans inconvénient, être alimenté en eau de rivière, et le service privé qui exige des eaux de source de bonne qualité, et de les desservir par des canalisations distinctes, c'est ce qui est réalisé aujourd'hui d'une manière presque complète.

Ressources actuelles. — Les ressources actuelles sont :

Pour le service public et industriel, le débit du canal de l'Ourcq, prélèvement fait des besoins de la navigation.	130,000	mètres cubes
Les eaux de la Seine et de la Marne élevées par machines.	240,000	—
Enfin les eaux d'Arcueil et des puits artésiens qui n'ont pas la pression nécessaire pour entrer dans le service privé.	10,000	—
Ensemble. . .	380,000	mètres cubes.

Quant au service domestique, il est servi inclusivement en eaux de sources par les dérivations de la Dhuis et de la Vanne, qui, ensemble, donnent en moyenne 130,000 mètres cubes.

Ouvrages alimentant le service public et industriel. — Ce service présente quatre zones étagées; chacune des trois premières reçoit l'eau par une seule ascension et la quatrième par machines de relai.

1° *Étage inférieur* desservi par le canal de l'Ourcq par le bassin de la Villette et deux usines hydrauliques élevant l'eau de Marne.

2° *Etage moyen*, par des machines élévatoires puisant en Seine;

3° *Quartiers hauts*, par des machines élevant l'eau de la Marne ;

4° *Quatrième étage*, desservi par trois machines de relai, deux puisant dans les réservoirs d'eau de la Marne, et la troisième dans le bassin de la Villette.

A ces ressources, il faut ajouter le puits artésien de Passy.

Il faut bien noter que cette division n'est pas absolue; c'est-à-dire que les divers étages peuvent s'entr'aider ou se suppléer.

Ouvrages qui assurent l'alimentation du service privé. — La consommation domestique est alimentée dans les quatre cinquièmes de Paris par la dérivation de la Vanne et, dans le dernier cinquième (quartiers hauts de la rive droite, de Charonne à Passy), par la dérivation plus élevée de la Dhuis, avec service de relai pour Belleville et Montmartre.

Dérivation de la Dhuis. — La Dhuis n'a qu'une source principale dont le débit en saison sèche est de 20,000 mètres cubes par jour; cette source est située à 130 kilomètres de Paris et à 128 mètres seulement d'altitude.

Pour lui faire parcourir cette distance de 130 kilomètres, le service auquel on voulait l'affecter exigeant que le réservoir fût à la cote 108, on ne disposait que de 20 mètres de pente.

Cette faible pente constituait une difficulté énorme qui a été vaincue par des moyens d'une grande simplicité; aussi l'aqueduc de la Dhuis est un des ouvrages qui dépassent de beaucoup en mérite les travaux si vantés des Romains. Il a depuis été dépassé par l'aqueduc de la Vanne.

Dérivation de la Vanne. — La Vanne naît à 14 kilomètres à l'ouest de Troyes, mais, à l'inverse de la Dhuis, qui doit à elle seule

tout son débit, la Vanne reçoit en route plusieurs sources, dont une partie doit être relevée par des moteurs.

L'ensemble des ouvrages uniquement consacrés à réunir les sources qui fournissent les 110,000 mètres cubes que peut donner la Vanne comprend :

Une douzaine de bassins de captation, et un réseau de drains ;

Cinq usines hydrauliques et une usine à vapeur ;

Enfin près de 45 kilomètres d'aqueduc, dont un collecteur principal présentant sur son parcours 25 souterrains, 800 mètres d'arcades et 1,400 mètres de grand siphon.

Les eaux ainsi rassemblées, reste à leur faire parcourir, avec les 25m,70 de pente dont on dispose pour les amener à la cote 80, les 136 kilomètres qui les séparent de Paris.

L'aqueduc d'amenée a 2 mètres de diamètre, il comprend entre autres travaux 17 kilomètres de traversées en siphons, parmi lesquels les siphons de l'Yonne, du Loing et de l'Essonne, et 14 kilomètres et demi d'arcades, notamment les arcades de la forêt de Fontainebleau et celles de la vallée de la Bièvre.

A ces ressources vont s'ajouter le produit de la dérivation des sources de Cochepies, qui portera de 110 000 à 130 000 mètres cubes le débit de l'aqueduc de *la Vanne.*

Pour compléter ces données, il faut ajouter le débit du puits artésien de la Chapelle en cours de terminaison, et qui pourra augmenter de 15 000 mètres cubes les ressources de l'alimentation privée.

Ouvrages servant à l'emmagasinement de l'eau. — La capacité totale des réservoirs d'eau de Seine et d'eau de Marne est de. . . . . 115,000 mètres.

Celle des réservoirs d'eau de Dhuis et d'eau de Vanne s'élève à. . . . . 358,000 mètres.

Le réservoir le plus remarquable est celui qui reçoit les eaux de la Vanne, c'est-à-dire le réservoir de Montrouge, qui a 3 hectares de superficie et près de 250,000 mètres cubes de capacité.

Il ne diffère guère que par ses dimensions du réservoir moins récent de Ménilmontant ; car on est arrivé, à Paris, pour ces grands ouvrages à un type qui paraît définitif.

On est amené dans la plupart des cas à faire des réservoirs à deux étages : un étage supérieur voûté qui est la partie essentielle de l'ouvrage et le véritable réservoir du service privé, et un étage inférieur formé des murs et des piliers qui servent de supports. Cet étage inférieur, n'ayant besoin que de l'addition d'un radier pour pouvoir lui-même recevoir un approvisionnement d'eau, est utilisé, selon les cas, comme réservoir de service public ou pour emmagasiner un approvisionnement destiné à des circonstances accidentelles.

Il est invariablement formé de piliers en meulière et ciment, régulièrement espacés qui reçoivent les voûtes en plein cintre sur lesquelles repose le radier du bassin supérieur.

Ce bassin porte une couverture formée de voûtes d'arêtes très légères et très surbaissées, dont les retombées s'appuient sur de minces piliers en briques qui correspondent comme axe aux piliers de l'étage inférieur.

Sur ces voûtes est étendue une couche de terre gazonnée qui maintient l'eau à une température constante.

Enfin, tout l'ouvrage est partagé par des murs de refend en plusieurs compartiments, qu'on peut faire fonctionner à volonté ensemble ou séparément. C'est indispensable pour éviter que la moindre réparation ou même un simple nettoyage n'entraîne un arrêt de service.

Les réservoirs établis dans ce système, inauguré par M. Belgrand, frappent par un caractère de hardiesse. Cette hardiesse réfléchie se concilie avec les plus grandes garanties de solidité pour toutes les parties essentielles de l'ouvrage ; c'est-à-dire pour les radiers et murs de pourtour qui forment les parois de ces immenses cuves, dont la rupture serait un désastre. Mais comme la couverture supérieure a un rôle moins capital, l'économie de matière y est poussée à des limites surprenantes. C'est ainsi que les voûtes surbaissées qui portent la couche de terre épaisse de 40 centimètres, répandue sur tout le réservoir n'ont, pour des ouvertures de 4 et même de 6 mètres, que *sept centimètres* d'épaisseur. Aucun ouvrage antérieur à M. Belgrand n'a jamais offert rien d'analogue.

Ouvrages servant à la distribution de l'eau. — Réseau des conduites. — En 1854, la canalisation ne suffisait qu'à grand'-peine à débiter 70,000 mètres cubes d'eau, maintenant la distribution

effective peut dépasser six fois ce volume ; on juge par là des accroissements qu'a dû subir la canalisation.

En 1854, son développement total n'était que de 360 kilomètres ; il est aujourd'hui de près de 2,000 kilomètres ; le diamètre des conduites ne dépassait pas 0^{m},60 et descendait jusqu'à 0^{m},054 ; il s'élève actuellement jusqu'à 1^{m},30 et ne s'abaisse que très exceptionnellement au-dessous de 0^{m},10.

Aujourd'hui, la séparation des services public et privé est effective. Si une partie de la population se sert encore pour les usages domestiques des eaux destinées à la rue et à l'industrie, c'est volontairement ; il n'y a plus dans Paris qu'un petit nombre de rues où les abonnements d'eau de sources ne peuvent être servis.

Presque partout la canalisation maîtresse est assez complète pour qu'une conduite venant à manquer, une autre lui serve de rechange, et les conduites secondaires forment des circuits fermés, de manière à ce que chaque point reçoive l'eau des deux côtés, ce qui garantit le mieux possible la régularité du service.

Les appareils hydrauliques du service public et les prises d'eau des abonnés. — En nombre rond, la canalisation dessert aujourd'hui 80,000 branchements, dont 18,000 alimentent les appareils de la rue et 62,000 font le service des immeubles.

Les appareils qui fonctionnent sur la voie publique sont de catégories très diverses ; ils ont pour objet :

1° Le lavage des ruisseaux ;
2° L'arrosement des voies et plantations ;
3° L'assainissement des urinoirs ;
4° Celui des égouts ;
5° Les secours contre l'incendie ;
6° L'alimentation du public non abonné ;
7° Les fontaines décoratives.

Exploitation. — Ce qui caractérise l'ensemble de l'exploitation, c'est une centralisation complète, absolument nécessaire, puisque l'instrument à manier est un.

Cette centralisation est obtenue, en fait, par deux moyens :

1° Interdiction à tout autre qu'aux agents de l'Inspection des Eaux

de manœuvrer aucun robinet de la distribution, d'avoir même une clef de manœuvre ;

2° Communication télégraphique permanente du bureau de l'inspection et par conséquent de celui de l'ingénieur en chef, avec tous les établissements du service, et répartition du personnel local dans des postes où l'on doit toujours laisser un agent du télégraphe.

Service des abonnés. — Le service des abonnés se fait sur trois bases différentes :

A la jauge, au robinet libre, au compteur; mais ce dernier mode est destiné dans un avenir prochain à remplacer les deux autres. Ainsi, par exemple, au 1er janvier 1878, les abonnements se subdivisaient ainsi :

A la jauge.	16,858 abonnés.
Au robinet libre.	26,217
Au compteur.	541
Ensemble.	43,616

Aujourd'hui, voici comment ils se répartissent :

A la jauge.	16,823
Au robinet libre.	2,035
Au compteur.	36,864
Ensemble.	55,722

Les résultats de cette généralisation du compteur sont des plus favorables, en diminuant le coulage, et rendant ainsi possible une augmentation du nombre des abonnés, cela a même permis de diminuer le prix de l'abonnement, ce qui n'a pas empêché les recettes d'augmenter d'une manière très notable.

Voici actuellement quels sont les tarifs d'abonnements :

Pour les usages domestiques, l'abonnement à 1 mètre cube ou 10 hectolitres par jour est payé 120 francs par an, soit 0 fr. 12 par hectolitre de consommation journalière.

Avant 1880, le tarif était rapidement progressif pour les abonnements inférieurs à 1 mètre, qui d'ailleurs ne descendaient pas au-dessous de 250 litres.

5 hectolitres par jour coûtaient 100 francs par an, ou 0 fr. 20 l'hecto-

litre; l'abonnement minimum de 250 litres se payait 60 francs, soit 0 fr. 24 l'hectolitre.

Soit à la jauge, soit au compteur, l'abonnement de 500 litres ne coûte plus aujourd'hui que 60 francs au lieu de 100 francs; celui de 250 litres, que 40 francs au lieu de 60 francs; et enfin l'on sert de petits abonnements de 125 litres à raison de 20 francs, c'est-à-dire qu'on peut s'abonner pour un prix inférieur des *deux tiers* à l'ancien minimum.

On a fait plus encore. Certains propriétaires refusaient, les uns par crainte de dépenses de premier établissement, les autres par routine et par inertie, d'installer l'eau dans leur maison. On a voulu n'avoir plus à leur demander qu'un simple consentement, et pouvoir s'adresser directement aux locataires. On a créé dans ce but de petits abonnements d'appartement servis en eaux de sources à robinet libre. Ils ne coûtent que 16 fr. 20 par an pour trois personnes, et 4 francs par personne supplémentaire, et dans toute maison où l'on souscrit assez pour représenter 32 fr. 40 par étage, la ville établit la colonne montante à ses frais.

CONFÉRENCE

SUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

FAITE AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

PAR M. PICOU.

I. PROPRIÉTÉS DES MACHINES ÉLECTRIQUES DESTINÉES AUX LAMPES A INCANDESCENCE.

Les besoins de l'éclairage par incandescence, diffèrent de ceux de l'éclairage par arc voltaïque, son aîné, par des exigences plus grandes. Les machines génératrices de courant doivent donc s'approprier à ces exigences, ce qui leur impose un programme spécial : c'est sur ce point que nous proposons de dire quelques mots.

En matière d'éclairage par arc voltaïque, les espaces éclairés sont, en général, assez grands : de plus, la lumière obtenue étant relativement économique, on ne se préoccupe pas, en général, de proportionner la lumière aux besoins.

On éclaire ou on n'éclaire pas.

Les machines doivent donc satisfaire à un certain régime déterminé qui n'est pas susceptible de grandes variations.

Tout autres sont les éclairages par incandescence. On leur demande comme conditions essentielles, l'indépendance absolue des foyers, et la proportionnalité de la dépense à l'éclairage réalisé.

La condition d'indépendance des foyers, implique la faculté de n'allumer qu'aussi peu de lampes que l'on voudra : une seule à la limite.

La proportionnalité de la dépense à l'éclairage nécessite un réglage de la production, automatique ou non.

La première condition exige que le champ magnétique soit créé

avant l'allumage, et qu'il soit indépendant du nombre des lampes allumées.

Les machines génératrices sont divisées en trois grandes classes : — machines magnéto-électriques, — machines dynamo-électriques à excitation par dérivation, — machines dynamo-électriques à excitation par le courant principal.

Il est facile de comprendre que la dernière des trois classes ne peut convenir en aucune manière. Le champ magnétique n'est pas créé avant l'allumage, il s'accroît peu à peu et ne prend de valeur stationnaire que quand la saturation est atteinte. Si l'on dépasse ce point de saturation, on peut arriver à une certaine indépendance des foyers, l'extinction d'un petit nombre d'entre eux n'entraînant pas d'affaiblissement du champ. Mais la solution est très incomplète et elle est mauvaise au point de vue économique.

Les machines magnéto ou les dynamo à excitation par dérivation satisfont seules à la première condition.

Les machines magnéto seraient excellentes à ce point de vue : elles n'ont contre elles que leur prix élevé, et leur propriété générique de se prêter mieux à la production des courants alternatifs qu'à celle des courants continus, ce qui occasionne moins de facilité dans les mesures et les contrôles indispensables au bon fonctionnement.

Les machines dynamo à dérivation ont les avantages des magnéto au point de vue du champ, et conservent les avantages économiques communs à toutes les machines dynamo.

La deuxième condition est celle de la proportionnalité de la dépense à la consommation : elle nécessite, ainsi que nous l'avons vu, un réglage de la production de courant.

Étant donné qu'il existe un moyen automatique de régler l'intensité, moyen qui n'entraîne aucune installation ou dépense spéciale, nous pensons qu'il n'y pas lieu d'envisager les autres moyens, qui, quels qu'ils soient, seraient bien inférieurs au premier.

Si l'on appelle :

I le courant total engendré par la machine;
E la force électromotrice de la machine ;
R la résistance intérieure ;
r la résistance d'une lampe ;
n le nombre de lampes allumées ;

L'expression du courant sera :

$$I = \frac{E}{R + R' + \frac{r}{n}}$$

$\frac{r}{n}$ étant la résistance des n lampes en dérivation.

Pour que le débit soit proportionnel à la demande, il faudrait que I fût proportionnel à n.

On voit immédiatement sur la formule que cette propriété ne sera obtenue que si l'on est en droit de négliger R et R' devant $\frac{r}{n}$. Dans ce cas, en effet, on aurait :

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n}} = n\frac{E}{r}$$

Il faut de plus que E soit constant.

Négliger R signifie pour le constructeur : faire la résistance intérieure aussi faible que possible, par rapport à celle du nombre maximum de lampes que peut alimenter la machine.

C'est la deuxième des conditions essentielles que doit remplir la machine.

Il est à remarquer que pour que E, force électromotrice reste constant, il faut que le courant qui crée le champ dans une machine dynamo le soit aussi. Ce courant étant dérivé des balais collecteurs, il faut que la différence des potentiels aux balais le soit aussi, et il est facile de voir que cela encore, exige qu'on puisse négliger R et R'.

Nous avons vu que R' résistance des fils doit pouvoir être négligée aussi.

Cette nécessité indique qu'il faut employer des fils relativement gros, elle paraît donc incompatible avec les conditions d'économie dans les frais de premier établissement.

Mais un choix judicieux de la lampe à employer permet de concilier les intérêts divers, en même temps qu'il facilite aussi la réalisation d'une résistance intérieure faible.

C'est, qu'en effet, parmi les divers types de lampes à incandescence, on observe qu'une lumière égale résulte d'une égale dépense d'énergie.

Mais l'énergie électrique est représentée par le produit EI de la différence des potentiels extrêmes de la lampe, par l'intensité du courant.

On peut donc réaliser, par exemple, deux lampes qui donneront toutes deux 16 bougies : l'une avec 100 volts et 0,75 ampère, l'autre avec 50 volts et 1,5 ampère.

L'énergie est la même : la lumière aussi. Quelle lampe devrait-on préférer ?

Évidemment, la lampe qui ne consomme que 0,75 sera préférable.

Supposons, en effet, que nos fils soient calculés pour une perte de 5 pour 100 environ, soit 5 volts pour la première lampe et 2,5 volts pour la deuxième.

La section du fil sera donnée par la formule d'Ohm, d'où l'on tire aisément:

$$s = \rho\, l \frac{I}{E},$$

ρ résistance spécifique du cuivre,
l longueur du fil.

$$\text{Or } \frac{I}{E} = \frac{0{,}75}{5} = 0{,}15$$

pour la première lampe et au contraire pour la seconde

$$\frac{I}{E} = \frac{1{,}5}{2{,}5} = 0{,}6.$$

Le fil serait donc quatre fois plus coûteux dans le second cas.

Pour résumer, nous arrivons à ces conclusions :

— Que les machines pour l'éclairage par incandescence doivent être magnéto-électriques ou dynamo à excitation par dérivation. — Les conditions d'économie feront généralement préférer ces dernières.

— Que leur résistance intérieure devra être relativement aussi faible que possible :

Et incidemment

— Que cette dernière condition sera d'autant plus facile à réaliser, et d'autant plus compatible avec l'économie, que l'on emploiera des lampes plus résistantes.

II. Sur le régime des lampes a incandescence

On sait que les lampes à incandescence sont formées d'un filament de carbone obtenu, soit par la carbonisation de matières organiques, soit par l'agglomération ou le dépot de carbone provenant de différentes sources.

Le filament est monté dans une ampoule de verre : deux fils traversent la paroi du verre et établissent la communication avec l'extérieur.

Dans cette ampoule on fait le vide le plus complet qu'il soit possible d'obtenir, en même temps qu'on chauffe le filament de manière à en chasser toutes les matières autres que le carbone. Les différences qui caractérisent les lampes des différents systèmes sont trop connues pour que nous insistions sur ce point : mais nous nous proposons de dire quelques mots d'un point spécial : le *régime* qu'il convient d'adopter pour les lampes.

En général, le fabricant qui livre des lampes les désigne par exemple comme lampes de 16 bougies à 100 volts, consommant 0,75 ampère. La question est donc de savoir si c'est bien là le régime qui convient à la lampe considérée.

Plusieurs considérations d'ordres très divers doivent contribuer à la détermination des éléments de fonctionnement de la lampe : mais en première ligne on doit envisager l'économie.

Une expérience, même grossière, indique que la lumière obtenue d'une lampe augmente beaucoup plus vite que le travail dépensé. Il y a dans ce fait une raison de forcer autant que possible le pouvoir lumineux d'un type donné.

Mais en poussant l'expérience à la limite, on s'aperçoit vite que la durée, la vie de la lampe est compromise et diminuée dans une très forte proportion.

Or, comme malgré les efforts de l'industrie et les progrès qu'elle réalise tous les jours, le prix des lampes est encore assez élevé pour n'être pas négligeable, cette diminution de leur vitalité constitue un facteur qui vient agir en sens inverse du précédent et qui doit conduire à plus de modération dans l'usage de la lampe.

Pour être complète, l'étude du régime devrait s'appuyer sur des lois

fondamentales, établissant des relations algébriques précises entre les diverses quantités qui entrent en jeu : pouvoir lumineux, énergie, vitalité ou durée correspondantes.

La connaissance que nous avons de ces lois est encore assez imparfaite. Principalement en ce qui concerne la durée des lampes, la loi ne peut se dégager que d'expériences extrêmement nombreuses, très longues, et dans lesquelles on doit tenir compté des accidents de fabrication.

Toutefois, nous nous contenterons des premières approximations, en attendant que l'avenir nous apporte de nouveaux documents propres à accroître le degré de probabilité des lois dont nous parlons.

Si nous appelons :

x le prix de la bougie;
c le pouvoir éclairant;
n le nombre de kilogrammètres dépensés pour le pouvoir c;
k le prix du kilogrammètre ;
nous avons une relation évidente :

$$c\,x = n\,k. \qquad (1)$$

Mais d'autre part, nous savons que le pouvoir éclairant s'accroît comme le cube de l'énergie dépensée ; c'est-à-dire que l'on a : a étant un coefficient numérique :

$$c = a\,n^3. \qquad (2)$$

Cette première loi est exacte avec une assez grande approximation et dans des limites très étendues de variations du pouvoir lumineux. Des équations (1) et (2) on tire de suite

$$x = \frac{k}{a\,n^2}$$

Le prix de la bougie varierait en raison inverse du carré de l'énergie dépensée, et décroîtrait indéfiniment.

Mais nous avons vu qu'il fallait faire entrer en ligne de compte la durée de la lampe et son prix :

Appelant d la durée,
p le prix,

il y a lieu d'ajouter à l'équation (1) un nouveau terme $\frac{p}{d}$ qui représente l'usure de la lampe pendant l'unité de temps choisie. Il vient alors.

$$c\,x = n\,k + \frac{p}{d}. \qquad (3)$$

Pour pouvoir résoudre cette équation, il faut connaître la relation qui lie la durée aux autres quantités. C'est, comme nous l'avons dit tout à l'heure, la partie la plus incertaine des données. Mais comme loi de première approximation, déduite de l'expérience, on peut admettre que la durée est en raison inverse de la quatrième puissance du pouvoir lumineux.

Ce qui s'exprime, b étant un coefficient numérique, par

$$d = \frac{b}{c^4}.$$

Substituant dans l'équation (3) et choisissant n comme variable avec x, on arrive finalement à la formule

$$x = \frac{p\,a^4 n^{11} + b\,k}{a\,b\,n^2}$$

qui donne le prix de la bougie.

Or ce prix est susceptible d'un minimum. En cherchant la valeur de n qui correspond à ce minimum par les procédés ordinaires de l'algèbre, on arrive rapidement à la valeur

$$n = \sqrt[11]{\frac{2\,b\,k}{9\,p\,a^4}}.$$

Appliquant cette valeur à la lampe normale du type Edison, dite de 16 bougies ; on trouve que le prix de la lumière est minimum quand la lampe dépense de 6.5 à 6.9 kilogrammètres par seconde en donnant une lumière de 10.6 à 12 bougies, selon le prix du kilogrammètre.

Il semblerait donc à priori que les lampes faisant 16 bougies sont trop poussées :

Une étude plus approfondie permet de voir qu'il n'en est rien.

C'est qu'en effet, il est un point qui a été laissé de côté, et qu'il faut maintenant envisager : je veux parler de *l'utilisation du matériel.*

Nous avons vu que l'énergie dépensée varie peu alors que la lumière obtenue varie beaucoup. Mais ce qui détermine la dépense première d'installation c'est surtout l'énergie absorbée et transformée, c'est en effet à cette énergie que sont proportionnels le poids et la valeur des machines génératrices, au moins approximativement. Aussi une machine qui donnerait 200 lampes de 12 bougies, soit 2,400 bougies pourra très bien donner 200 lampes de 16 bougies, soit 3,200 au total : et cette marche à 16 bougies sera peut-être plus économique, en raison de la meilleure utilisation du matériel, et malgré la diminution de durée des lampes.

Introduisons donc ce terme dans les calculs, en appelant :

V la valeur du matériel par lampe;
T la durée annuelle d'éclairage;
t le taux d'amortissement annuel.

L'équation générale, et complète sera donc alors :

$$cn = nk + \frac{p}{d} + \frac{Vt}{T}$$

le dernier terme représentant l'usure horaire du matériel engagé. On obtient alors le prix de la bougie par la formule

$$x = \frac{pa^4 n^{12} + bkn + b\frac{Vt}{T}}{abn^3}$$

Si comme précédemment nous nous proposons de trouver le minimum de ce prix nous sommes conduit à une équation trinôme du 12e degré.

$$9pa^4 n^{12} - 2bkn - 3b\frac{Vt}{T} = o$$

La résolution numérique de cette équation est un peu plus laborieuse que précédemment : néanmoins elle ne présente pas de difficulté spéciale.

Appliquant encore à la lampe Edison de 16 bougies, on détermine la valeur numérique des coefficients, et la méthode de Newton indique que la racine est comprise entre 7.09 et 7.60 kilogrammètres, selon les dif-

férentes valeurs qu'on peut adopter pour les prix du kilogrammètre, de l'installation, le taux d'amortissement.

Le pouvoir lumineux correspondant varie alors de 13.5 à 16.5 bougies.

Tels sont les éclaircissements que le calcul peut donner sur le régime qui convient aux lampes à incandescence.

Mais il convient de se souvenir que les équations ne sont qu'un mécanisme de transformation et qu'elles ne peuvent tenir compte dans le résultat que de ce qu'on a introduit dans les données.

Il peut donc exister d'autres considérations non susceptibles d'être interprétées algébriquement et dont on devrait cependant tenir compte : je me bornerai à en signaler deux.

D'abord, il y a à s'inquiéter de la valeur spectroscopique de la lumière.

Lorsqu'on élève successivement la température d'un filament incandescent, ce sont les radiations rouges, les moins réfrangibles qui apparaissent les premières : le spectre s'étend ensuite peu à peu, en même temps que la lumière change d'aspect. A un certain moment on a la sensation d'une lumière blanche : puis aux hautes intensités, les radiations violettes deviennent prédominantes et l'éclat se rapproche de celui de l'arc voltaïque.

L'expérience prouve que la lumière la plus agréable est celle qui correspond à la sensation de lumière blanche; et la physiologie nous apprend que c'est aussi celle qui fatigue le moins la vue. C'est là une qualité essentielle pour un éclairage domestique comme le deviendra sans doute l'éclairage par incandescence. C'est donc encore là une des considérations qui doivent guider dans la détermination du régime.

Enfin la dernière est celle qui tient compte de l'effet moral qui résulte de la destruction ou plutôt de la *mort* d'une lampe.

Il faut qu'elle ait une durée assez longue, quand même le calcul viendrait indiquer le contraire, et voici pourquoi.

La lampe est, par sa nature même, un produit qui s'use peu à peu, mais qui se trouve dans des conditions toutes spéciales.

D'abord rien à l'extérieur ne manifeste et ne permet de constater et d'estimer cette usure d'où dépend la valeur actuelle de la lampe. Puis elle rend sensiblement le même service jusqu'à la dernière minute de sa vie.

Il en résulte que sa destruction est toujours imprévue; et se mani-

festant tout à coup, elle frappe l'esprit comme la destruction de la valeur initiale de la lampe bien plutôt que comme le résultat inévitable d'une usure lente et progressive qui a amené la lampe peu à peu à une valeur nulle.

Aussi est-il important que ce fait ne se reproduise pas de telle sorte que l'esprit soit désagréablement surpris par sa répétition.

Nous espérons avoir montré par ces quelques lignes combien est complexe la question des lampes à incandescence. Combien serait superficielle l'étude qui se bornerait à mesurer la lumière obtenue et l'énergie dépensée, il est à peine utile de le faire maintenant ressortir. Et cependant, c'est ainsi qu'on a procédé jusqu'ici, même dans les Expositions électriques, qui doivent constater officiellement les étapes parcourues dans la voie du progrès.

La question de durée, qui n'a jamais été envisagée, prend une importance très grande et nous avons vu que cela ne suffit pas encore à élucider complètement la question.

Il n'est pas difficile de produire des lampes économiques en apparence, consommant peu et éclairant beaucoup. Mais ce qui importe, c'est le prix de la bougie, d'où dépend le prix de l'éclairage.

C'est ce que nous pensons avoir fait ressortir, en essayant d'indiquer la voie qui permet de le déterminer.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Chauffage des locomotives au pétrole. — Les voies de chemins de fer en Amérique. — Expansion dans les machines marines. — Bourrage des trous de mines avec du plâtre. — Influence de la lumière sur l'hygiène. — Matériel de la voie des chemins de fer économiques.

Chauffage des locomotives au pétrole. — Nous avons déjà eu plusieurs fois l'occasion de signaler le développement que prend en Russie, l'emploi du pétrole pour le chauffage des locomotives, notamment dans nos chroniques de mai 1881 et de septembre 1882.

M. Thomas Urquhart, ingénieur de la traction du chemin de fer du Volga, dont nous avons déjà cité le nom à ce sujet, vient de faire à la dernière réunion de l'*Institution of Mechanical Engineers* à Cardiff, une communication sur cette question. Nous donnons ci-dessous, d'après les journaux anglais, le résumé de cette communication et de la discussion qui l'a suivie.

M. Urquhart rappelle que ses premiers essais pour l'emploi du pétrole, comme combustible sur les locomotives, ont été faits en 1874, sur le chemin de fer de Grazi à Tsaritsin, dans la Russie méridionale, mais à cette époque, le pétrole était trop cher pour que cet essai pût avoir des suites. Les résidus de la distillation du naphte sont aujourd'hui très abondants; leur pouvoir d'évaporation théorique est de 16.2 d'eau pour 1 de combustible, soit supérieure de 33 pour 100 à celui de l'anthracite. Dans la pratique, ce dernier ne donne pas une évaporation de plus de 7 à 7 1/2, ce qui représente 60 pour 100 de la puissance théorique, tandis qu'avec le pétrole on obtient couramment 12,25, ce qui représente les 75 pour 100 du pouvoir théorique, de sorte qu'en définitive la vaporisation pratique du combustible liquide est de 63 à 75 pour 100 supérieure à celle de l'anthracite.

L'auteur a représenté sur des dessins la disposition des injecteurs pulvérisateurs qu'il emploie[1] et qui sont alimentés avec de la vapeur ordinaire, c'est-à-dire non surchauffée. Les orifices doivent être très petits, de 1/2 à 2 millimètres; ils sont donc très exposés à se boucher et, pour cette raison, il faut avoir les appareils en double. La chambre de combustion est garnie intérieurement en briques, et ces briques, une fois élevées à une haute

1. Tous les appareils à brûler le pétrole sur les locomotives employés en Russie ont été décrits avec figures dans l'*Engineering*, 1er volume de 1883, pages 576 et 600.

température agissent comme régénérateur pour assurer la combustion complète. Quelquefois on a chauffé l'air en le faisant passer par des canaux ménagés dans les parois en briques. M. Urquhart emploie, comme nous l'avons dit, la vapeur pour l'entraînement du pétrole sur les locomotives; mais il a également employé, pour un four à bandages, l'air soufflé par un ventilateur Root. Il y a quatre injecteurs disposés tangentiellement à la circonférence du bandage. On ne dépense que le tiers de ce qu'on dépensait avec le charbon bitumineux et on fait 25 pour 100 de plus d'ouvrage.

Pour allumer une locomotive chauffée au pétrole, on prend la vapeur nécessaire pour le tirage et pour l'entraînement du combustible liquide sur une chaudière fixe ou sur une autre locomotive. Il faut 20 minutes pour monter à 3 kilogrammes et 55 minutes pour 8 1/2. Si l'eau est déjà chaude, on arrive en pression en 25 minutes. On commence par vider d'eau les pulvérisateurs par un petit jet de vapeur et on met en marche le souffleur pour extraire les gaz de la boîte à fumée, des tubes, etc. On met dans le foyer des chiffons ou une poignée de copeaux enflammés et on ouvre le robinet au pétrole; celui-ci s'enflamme immédiatement sans explosion, et on règle la combustion à volonté. Lorsqu'on descend une pente sans vapeur, on arrête l'arrivée du pétrole; alors il faut fermer le cendrier et un registre placé dans la cheminée pour conserver la chaleur; lorsqu'on envoie de nouveau le pétrole, la température du foyer est assez élevée pour le rallumer.

L'auteur a installé ce système sur 72 locomotives dont 10 à voyageurs, et 62 à marchandises dont 17 à huit roues couplées. La ligne a 468 kilomètres de Tsaritsin à Burnack; il y a quatre grands réservoirs à pétrole, contenant chacun 2,000 tonnes. A chaque station d'alimentation se trouve un réservoir avec un tube de niveau en verre et une échelle graduée.

Le pétrole est contenu dans une caisse faisant partie du tender et disposée entre les deux branches de la caisse à eau. Ce réservoir contient 3,500 kilogrammes d'huile, quantité suffisante pour faire parcourir à une machine à six roues couplées une distance de 400 kilomètres avec un train de 480 tonnes. On recommande d'avoir des filtres en toile métallique sur le réservoir, de manière à empêcher l'arrivée de matières solides qui boucheraient les trous des injecteurs à pétrole.

Malgré ce qu'on pourrait supposer, l'emploi du pétrole n'est pas dangereux; l'auteur en a donné comme preuve qu'une locomotive chauffée au pétrole tomba le 30 décembre 1883 en bas d'un remblai avec le train qu'elle remorquait, et il n'y eut ni explosion ni incendie.

Le mémoire contient plusieurs tableaux, dont l'un reproduit les résultats de 17 parcours donnant une consommation moyenne de 11 kilogrammes par train kilomètre. Le troisième, que nous reproduisons *in extenso*, donne les résultats comparatifs de consommation avec divers combustibles. On voit que le combustible liquide économise 55 pour 100 en argent et 41 en poids sur l'anthracite et 49 en argent et 61 en poids sur le charbon bitumineux.

Essais comparatifs entre le pétrole, l'anthracite, le charbon bitumineux et le bois faits en hiver entre Archeda et Tsaritsin sur le chemin de fer de Grazi à Tsaritsin.

DATES 1883	LOCOMOTIVES	TRAIN SEUL		PARCOURS	NATURE du COMBUSTIBLE	CONSOMMATION ALLUMAGE COMPRIS		DÉPENSE de combustible par train-kilomètre	ÉTAT de L'ATMOSPHÈRE
		Nombre de wagons chargés	Poids brut			totale	par train-kilomètre		
	n°		tonnes	kilom.				fr.	
8 février....	8	25	400	625	Anthracite	14396k	23.0k	0,770	— 21 à — 22° C. fort vent latéral.
	14	25	400	625	Charbon bitumineux	17013	27.2	0,911	
	7	25	400	312.5	Résidu de pétrole	4286	13.7	0,356	
6 mars.....	24	25	400	312.5	Anthracite	5725	18.3	0,613	— 6 à — 11° C. faible vent latéral.
	21	25	400	312.5	Bois	30,44mc	0,097mc	0,514	
	23	25	400	312.5	Résidu de pétrole	3272k	10.5k	0,273	

Prix des divers combustibles : Résidus de pétrole, 26 francs la tonne; anthracite et charbon bitumineux, 33 fr. 50; bois débité en bûches, 5 fr. 30 le mètre cube.

Dimensions des locomotives : Diamètre des cylindres, 0,460; course des pistons, 0m,610; diamètre des roues, 1m,300; surface de chauffe totale, 116 mètres carrés; poids total adhérent, 36,000 kilogrammes; pression, 8 à 9 atmosphères.

Dans la discussion qui a suivi cette communication, M. J. Tomlinson a manifesté quelque surprise que M. Urquhart, qui a appliqué l'emploi du pétrole à un nombre relativement considérable de locomotives, n'ait pas construit des chaudières spéciales pour cet usage, au lieu de se borner à modifier les chaudières existantes. Il ne croit pas l'usage du combustible liquide possible pour les chemins de fer souterrains comme le Métropolitain, à cause du danger qui peut en résulter; d'ailleurs, actuellement il ne se produit plus de fumée appréciable sur la ligne du Métropolitain.

M. William Boyd, de Newcastle, a fourni les machines de plusieurs steamers destinés à fonctionner sur le Volga avec du combustible liquide. La chaudière de ces bateaux a deux foyers où le pétrole arrive d'un réser-par des tubes à robinets au-dessous des portes des foyers. Les tubes d'arrivée ont deux conduits, l'un pour l'huile, l'autre pour la vapeur, les conduits sont dirigés de telle sorte que les jets de vapeur d'un tube rencontrent les jets d'huile d'un autre et vice versa, ce qui produit la pulvérisation du liquide. Il y a une grille ordinaire sur laquelle on met des graisses de peu de valeur pour l'allumage; le cendrier est clos par un registre.

Cette disposition a été appliquée sur cinq bateaux et la seule modification apportée aux chaudières a été l'allongement des tubes, relativement à leur diamètre. Ainsi les premiers générateurs avaient des tubes de 85 millimètres sur $2^{m},15$; on a donné aux autres chaudières des tubes de 70 millimètres sur $2^{m},75$. M. Boyd regrette de ne pas avoir de chiffres exacts sur les consommations d'huile des machines de ces bateaux; il croit toutefois qu'elle ne diffère pas beaucoup de $1^{k}15$ par cheval indiqué et par heure. Comme le combustible liquide est très bon marché, on n'en surveille pas beaucoup la consommation, ce qui fait que ces chiffres peuvent être considérés comme élevés. On doit regarder comme un avantage précieux dans certains cas, la grande facilité que donne l'huile de pousser rapidement les feux à un moment donné.

M. Rennie fait observer que les dispositions décrites dans le mémoire ont une grande analogie avec des arrangements essayés par sa maison il y a douze ou quinze ans. L'essai avait été fait sur la chaudière des ateliers et la comparaison, faite dans une marche d'un mois avec l'huile et d'un mois avec le charbon, avait montré un avantage décisif en faveur de la première. Cette disposition fut alors adoptée à la chaudière d'un bateau construit pour la navigation du Tigre, mais l'impossibilité d'avoir des huiles assez propres et les difficultés de service firent renoncer à l'emploi du combustible liquide.

M. Tart, ingénieur de la compagnie à laquelle appartenait le bateau dont vient de parler M. Rennie, donne quelques chiffres au sujet des résultats obtenus alors; c'est la difficulté d'obtenir l'huile minérale qui fit renoncer à son emploi qui était avantageux.

M. Crampton ne doute pas qu'on ne puisse brûler avec succès des résidus de pétrole; c'est une question de prix. Toutes les expériences faites ont amené à cette conclusion qu'en dehors des pays de production, il ne fal-

lait pas songer à son emploi. On pourrait probablement améliorer la combustion en injectant de l'air avec la vapeur et l'huile. Il serait intéressant d'avoir des renseignements sur la température de la boîte à fumée; il ne serait pas étonnant qu'elle fût moins élevée qu' avec le charbon.

M. F. C. Marshall, de Newcastle, dit que la maison à laquelle il appartient (MM. R. et W. Hawthorn) a construit des chaudières marines pour brûler le pétrole, avec des dispositions analogues à celles dont a parlé M. Boyd. Les tubes étaient même plus longs encore que celui-ci ne l'a indiqué ; ils avaient 64 millimètres de diamètre sur 3m,05 de longueur et, même avec ces proportions, la flamme sortait aux extrémités. La question du réglage de l'arrivée d'air est très importante, et il partage l'opinion de M. Crampton sur l'utilité d'introduire de l'air avec la vapeur et l'huile minérale. Dans les chaudières dont il vient de parler, le manque d'air se faisait voir par l'émission de fumée qui se produit d'ailleurs sur tous les steamers qui brûlent du pétrole sur le Volga et dont on se plaint beaucoup. Il ne peut donner de chiffres sur les consommations de ces chaudières, mais il se rappelle avoir entendu dire aux mécaniciens qu'ils maintenaient beaucoup mieux la pression avec l'huile qu'avec le bois.

M. Marshall pense que le temps n'est pas loin où les steamers qui font la navigation de la Méditerranée trouveront avantage à prendre du pétrole de la mer Noire plutôt que du charbon anglais. La question de la température de la boîte à fumée mérite l'attention ; on devrait arriver à faire sortir les gaz des tubes à une température peu supérieure à celle de l'eau de la chaudière et à supprimer en grande partie la cheminée.

M. Jeremiah Head fait observer que les foyers de locomotives décrits par M. Urquhart contiennent de grosses masses de briques qui n'existent pas dans les chaudières marines dont ont parlé les autres orateurs. Il en résulte une différence dans les résultats, et c'est à leur absence qu'on doit attribuer la combustion incomplète signalée dans le second cas. Une sorte de réservoir de chaleur de ce genre doit être nécessaire et il serait également bon de chauffer préalablement l'air qui alimente la combustion. Il est peu probable que la vapeur qui est employé à injecter le pétrole soit décomposée ; elle passe à l'état de vapeur dans la cheminée avec les gaz de la combustion.

M. P. F. Nursey rappelle qu'il a assisté en 1868 à des expériences sur l'emploi du pétrole à bord d'un bateau entre Londres et Gravesend. Les résultats matériels furent très bons, mais on reconnut après qu'il n'était pas possible de compter sur l'obtention régulière de la matière à un prix assez bas et on dut renoncer à s'en servir. Le pétrole peut d'ailleurs jouer un autre rôle dans la navigation ; son introduction dans les chaudières empêche les entraînements d'eau ; ce système, proposé par un ingénieur Danois, a été essayé avec succès notamment sur le steamer *Ida*, de la Compagnie du London, Brighton and South Coast Railway. faisant le service entre Newhaven et Dieppe. Les chaudières de ce bateau avaient de tels entraînements d'eau qu'on était sur le point de les changer ; l'emploi du pétrole

remédia entièrement à cet inconvénient. On injectait l'huile dans les chaudières avec l'eau d'alimentation au départ et au milieu de la traversée ; on reconnut en outre que le pétrole empêchait l'adhérence des dépôts et permettait de supprimer le graissage des cylindres.

M. Cardew, ingénieur des chemins de fer de l'État Indien, dit que le pétrole a donné de bons résultats sur les locomotives pour empêcher les dépôts dans les chaudières. Sur ses lignes, les eaux sont très mauvaises et on est obligé de laver les chaudières après 160 kilomètres de parcours. On a d'abord essayé l'huile de Rangoon, mais il se produisait des entraînements d'eau et des fuites dans les chaudières à tel point qu'on ne pouvait jamais compter sur les machines. Ces inconvénients disparurent lorsqu'on réduisit la quantité d'huile à une proportion très minime ; on arriva même en pratique à se borner à badigeonner d'huile l'intérieur des caisses à eau, après chaque lavage de la chaudière. L'emploi de la kerosine comme antiincrustant a été essayé de même sur plusieurs chemins de fer dans l'Inde, mais on a y renoncé sur quelques-uns, par ce qu'on l'a trouvé trop délicat en pratique.

M. Druitt Halpin emploie depuis des années le pétrole comme désincrustant avec des eaux encore plus mauvaises que celles dont on vient de parler et qu'il connaît très bien. Les chaudières sont du type Lancashire, de $2^m,10$ de diamètre et $9^m,20$ de longueur ; on y met de un demi à deux tiers de litre de pétrole par semaine ; on l'introduit par les soupapes de sûreté en rallumant les chaudières le lundi matin.

Le président (M. J. Lowthian Bell), en résumant la discussion, dit qu'il considère les chiffres donnés dans le mémoire comme exacts, mais il ne faut pas oublier qu'il y a de grandes variétés dans les huiles minérales. Si on voulait employer le pétrole en Angleterre comme substitut du charbon, il se produirait immédiatement une hausse considérable des prix. Il partage l'avis des membres qui ont insisté sur la nécessité de régler suivant les besoins l'accès de l'air qui alimente la combustion ; autrement on a une perte inévitable de calorique. Au sujet des observations présentées par M. Marshall, le président rappelle que, la transmision du calorique par les surfaces de chauffe variant avec la différence de température entre les deux faces de la paroi métallique, on ne peut pas en pratique réaliser les conditions qui ont été indiquées par l'orateur, parce que la surface de chauffe additionnelle nécessaire pour y arriver, serait trop grande pour rentrer dans les conditions des applications ordinaires. On a prononcé le mot de régénérateur à l'occasion des massifs de briques des foyers ; l'expression n'est pas exacte ; ces massifs agissent simplement comme réservoirs ou volants de calorique pour régulariser la température.

Dans la comparaison des pouvoirs de vaporisation donnés par M. Urquhart, il ne faut pas oublier de tenir compte de la quantité de chaleur absorbée pour la production de la vapeur qui sert à l'injection du pétrole. De plus, si cette vapeur est décomposée dans le foyer en ses éléments et que ceux-ci se recombinent dans la combustion, l'opération peut être considérée comme

n'ayant donné aucun résultat positif ou négatif; mais, si cette recomposition n'a pas lieu, il y a une perte incontestable du chef de la dissociation sans contre-partie.

Les voies de chemins de fer en Amérique. — Nous avons dit quelques mots dans la chronique d'août sur la tendance qui se manifeste aux États-Unis, d'uniformiser l'écartement des voies de chemins de fer. Il y a en effet quelque sujet de le faire, si l'on en juge par un article récemment publié dans l'*Engineering News*. Ce journal a réuni des chiffres qu'il donne comme suffisamment approchés, sinon comme rigoureusement exacts, sur les divers écartements encore en usage aujourd'hui sur les chemins de fer des États-Unis, du Canada et du Mexique. Voici ces chiffres :

Voie.			Nombre de lignes ou réseaux.	Longueur totale.
6 pieds		1m, 830	2	61 kilomètres.
5 p.	6 p.	1, 677	2	122
5 p.	3 p.	1, 601	1	5
5 p.	2 p.	1, 575	1	13
5 p.		1, 525	47	18,479
4 p.	9 ½ p.	1, 460	1	92
4 p.	9 p.	1, 448	35	18,726
4 p.	8 ¾ p.	1, 442	8	1,964
4 p.	8 ½ p.	1, 435	309	154,995
4 p.	3 p.	1, 296	3	121
4 p.	1 p.	1, 245	1	8
3 p.	6 p.	1, 067	9	827
3 p.	4 p.	1, 017	1	15
3 p.	2 p.	0, 966	1	77
3 p.		0, 915	108	13,962
2 p.		0, 610	2	55

On trouverait donc 16 écartements de voies différents répartis entre 531 lignes, représentant une longueur totale de 208,622 kilomètres.

Si on laisse de côté les écartements qu'on peut appeler exceptionnels, on voit que les voies les plus en usage sont la voie de 5 pieds, principalement employée dans les États du Sud, la voie de 4 pieds 9 pouces dite *compromise gauge* adoptée par le Pennsylvania Railroad, les lignes tributaires de cette puissante compagnie et un certain nombre de chemins de fer rayonnant autour de Cincinnati, et enfin la voie normale de 4 pieds 8 pouces et demi qui représente 80 pour 100 de la longueur totale et qu'on trouve partout,

La voie étroite de trois pieds est en usage sur 108 lignes; mais si, des 13,962 kilomètres indiqués pour cet écartement, on retranche les 2,680 kilomètres du Denver et Rio Grande et 3,750 kilomètres pour trois autres grandes lignes, on voit que le reste de la longueur divisé entre 104 lignes ne

donnera pour chacune qu'une longueur moyenne de 70 kilomètres environ; d'où on peut conclure que, sauf les cas ci-dessus, la voie étroite n'est généralement appliquée jusqu'ici qu'à des lignes locales d'importance secondaire.

La voie la plus large qu'on rencontre aux États-Unis est la voie de 6 pieds du Mount Stirling Railroad, dans l'état de New-York, également employée sur une portion du Toga Railroad en Pensylvanie. La voie la plus étroite est celle de 3 pieds qu'on trouve sur deux petits chemins de fer dans l'État du Maine.

La concentration des lignes dans les mains de grandes compagnies a pour effet d'amener rapidement l'unification des voies. Certains réseaux ont déjà acquis des longueurs considérables, comme on peut en juger d'après les quelques chiffres ci-après.

Compagnies.	Longueurs.
Missouri Pacific	9,707 kilomètres.
Chicago, Milwaukie et Saint-Paul	8,373
Union Pacific	7,461
Central Pacific	7,137
Chicago and North Western	6,055
Chicago, Burlington and Quincy	5,809
Wabash, Saint-Louis and Pacific	5,218
Pennsylvania Railroad	5,084

Le tableau que nous avons sous les yeux donne 24 compagnies dont la plus petite a encore un réseau de 1,600 kilomètres. La longueur totale des lignes de ces 24 compagnies est de 100,000 kilomètres en nombre rond, ce qui ferait un peu plus de 4,000 kilomètres en moyenne pour chacune.

L'expansion dans les machines marines. — On aurait tort de croire que les économies si remarquables réalisées avec les derniers types de machines marines, sont obtenues avec des expansions très considérables. Un correspondant de l'*American Engineer* a envoyé récemment à ce journal un tableau donnant les expansions maxima avec lesquelles fonctionnent les machines des steamers les plus renommés des lignes transatlantiques. Nous reproduisons ce tableau ci-dessous.

On prend en général pour règle que le chiffre de l'expansion est le dixième de la pression effective à la chaudière exprimée en livres par pouce carré, ce qui correspond sensiblement à 1,4 par kilogramme de pression effective; on voit que les expansions indiquées au tableau sont même en dessous de cette proportion. Pour certaines machines, les expansions ont été mesurées d'après les diagrammes d'indicateur; pour d'autres qui n'ont pas d'organes spéciaux de détente au cylindre à haute pression, on l'a calculée d'après l'hypothèse de l'introduction minima à moitié de la course au premier cylindre; on ne saurait en effet réduire davantage l'admission avec la coulisse seule, parce qu'en plus de la réduction de l'ouverture des lumières, on aurait des perturbations dans les autres phases de la distri-

NAVIRES	DATE de la mise en service	CONSTRUCTEURS	PRESSION effective	RAPPORT des volumes des cylindres	EXPANSION totale	OBSERVATIONS
			kilogr.			
Aberdeen........	1881	Napier	7 à 8.5	5.44	8.5 à 11	Machine à triple expansion de Kirk, pas de détente variable au petit cylindre; expansions mesurées sur les diagrammes d'indicateur.
Isle of Dursey....	1883	Id.	9 à 11	7.80	9 6 à 11.3	Mêmes observations que ci-dessus.
Servia..........	1881	J. et G. Thomson	6.5	3.86	7.7	Pas de détente variable au petit cylindre.
Arizona.........	1879	John Elder	6.5	4.20	8.4	Id.
Oregon..........	1883	Id.	8	4.40	8.8	Id.
Austral.........	1882	Id.	6.75	3.85	7.7	Id.
Stirling Castle....	1882	Id.	7	4.10	8.2	Id.
Mexican.........	1881	Clark à Sunderland	6.5	3.54	7.1	Id.
Teucer..........	1882	Scott, Greenock	5.25	5.20	7.8	Id.
Tartar..........	1883	J. et G. Thomson	6.5	3.54	7.1	Id.
Hanoverian......	1882	Doxford, Sunderland	5.75	3.50	10.5	Détente variable au petit cylindre donnant une admission minima à 1/3 de la course.
Normandie.......	1883	Barrow Cy	6	4.50	2	Détente Meyer sur les petits cylindres, admission minima inconnue.
Czar............	1883	Wallsend Cy	5.75	3.80	2	Détente variable au petit cylindre, mais d'un modèle ne permettant pas une admission très réduite.
Moor...........	1882	J. et G. Thomson	6.5	3 10	2	Même observation.

bution. Pour les machines à détente variable au premier cylindre par organe spécial, on a, dans certains cas, calculé d'après la disposition de cet appareil l'introduction minima. On voit d'ailleurs que, dans la plupart des machines de ce tableau, il n'existe pas d'appareils spéciaux de détente variable au petit cylindre, ce qui semble indiquer que la complication qui résulte de leur emploi n'est pas compensée par un avantage appréciable.

Ces faits viennent à l'appui de la thèse que nous avons toujours soutenue[1], savoir que ce n'est pas dans l'exagération des expansions qu'on doit chercher la réduction de la dépense de vapeur, mais bien dans les conditions où doit se produire la détente. La voie contraire a invariablement conduit à des mécomptes et il est résulté de ces insuccès une confusion qui a amené certains esprits à mettre en doute les principes les mieux établis de la théorie des moteurs à vapeur.

Bourrage des trous de mines avec du plâtre. — Dans une communication faite à la réunion à Cincinnati de la Société américaine des ingénieurs des mines, au mois de février de cette année, M. Firmstone a indiqué l'emploi qui commençait à être fait du plâtre pour le bourrage des trous de mines chargés avec diverses espèces d'explosifs; on y trouve avantage notamment lorsque les coups de mine doivent être allumés à l'électricité, parce qu'on ne risque point d'altérer les fils. L'auteur fait observer que la chaleur qui se dégage lorsque le plâtre fait prise suffit parfois pour déterminer l'inflammation de la charge, ainsi qu'il a pu s'en rendre compte par des essais répétés.

La discussion qui a suivi a fait ressortir des faits intéressants. M. S. Whinery a dit qu'il avait, en 1878, employé le plâtre pour bourrer sous l'eau des trous de mines destinées à faire sauter un morceau de rocher dans le lit du Tennesee; la bouillie de plâtre était coulée dans un tube montant au dessus du niveau de l'eau qui n'avait pas plus de un mètre de hauteur. On laissait prendre le plâtre pendant 15 à 20 minutes avant de mettre le feu par l'électricité. Les résultats furent satisfaisants, mais néanmoins, étant données les circonstances, on ne trouva pas que le procédé présentait assez d'avantages pour justifier son emploi.

M. R. W. Raymond ne croit pas que le dégagement de chaleur amené par la prise du plâtre soit suffisant pour enflammer les explosifs, mais il désire appeler l'attention sur une cause de danger qui existe dans le bourrage des coups de mine et qui est d'autant plus grande que ce bourrage est plus parfait. Il est imprudent de laisser longtemps des coups de mine chargés avec des composés de nitro-glycérine sans les tirer. Une élévation de température insuffisante pour causer l'explosion amène le dégagement de gaz qui produisent une pression laquelle peut déterminer l'explosion. L'attention de M. Raymond a été attirée sur ce point depuis longtemps, dès

1. Voir entre autres *Mémoires et Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils*, 1873, p. 851 et suivantes.

les premiers temps de l'emploi des poudres à base de nitro-glycérine. On avait chargé un coup de mine et les ouvriers étaient allés dîner sans le tirer; l'explosion se produisit spontanément pendant leur absence. A la même époque et au même endroit, on constata qu'une boîte contenant des cartouches ayant été laissée au soleil, le dégagement de gaz produit fut assez fort pour soulever le couvercle de la boîte ; il n'y eut pas d'ailleurs d'explosion. On a proposé de mettre sur la charge avant de la bourrer avec du plâtre une sorte de coussin de matière élastique qui empêche l'effet de compression des gaz, mais ce matelas aurait l'inconvénient de réduire l'effet de l'explosion que, dans le cas du sautage des roches, on cherche en général à rendre aussi brusque que possible.

L'expérience semble avoir confirmé cette manière de voir, d'après ce qui a été rapporté par un des membres présents.

Influence de la lumière sur l'hygiène. — Les lumières artificielles ont une influence différente sur l'hygiène selon la proportion d'air vicié par la combustion.

Les tables du docteur Tidy, citées par l'*Engineering*, indiquent que pour donner une lumière égale à celle de 12 bougies de spermaceti brûlant 120 grains à l'heure, le gaz de cannel vicie 6,160 litres d'air par heure, le gaz ordinaire 9,880, l'huile de spermacéti 10,130, l'huile de benzole 10,680, l'huile de paraffine 13,740, la camphène 14,480, les bougies de spermaceti 17,460, les bougies de cire 17,940, les bougies de stéarine 19,000 et les chandelles de suif 28,500.

Même en prenant le gaz ordinaire qui occupe un des premiers rangs de cette liste, on voit combien l'absence de ventilation convenable dans des lieux de réunion à éclairage considérable peut être dangereux pour la santé. On a constaté qu'à onze heures et demie du soir, il y a dans l'air du théâtre de Haymarket, à Londres, deux fois plus d'acide carbonique que dans l'air de la rue voisine ; dans les souterrains du métropolitain, quatre fois plus qu'au dehors et dans les galeries de mines vingt fois plus en moyenne qu'à l'extérieur. Il faut ajouter que l'acide carbonique n'est pas la seule matière nuisible que produisent les sources de lumière artificielle, il y a encore la fumée, les particules charbonneuses et la vapeur d'eau dont, d'après le docteur Griffin, de Bristol, 60 becs de gaz dégagent par heure à peu près 60 litres.

Le soufre a un effet des plus nuisibles tant sur les personnes que sur les objets. Il attaque avec une grande énergie la reliure en cuir des livres ; c'est pour cela entre autres raisons qu'on a adopté la lumière électrique au Bristish Museum. Le docteur Letheby rapporte à ce sujet l'exemple d'un volume égaré retrouvé intact au bout de 36 ans, alors que la reliure de ses pareils restés sur les rayons d'une bibliothèque éclairée au gaz était presque complètement détruite.

L'*Engineering* conclut que la lumière électrique est la seule lumière artificielle hygiénique et son prix, fût-il même plus élevé, ne devrait dans

aucun cas être un obtacle à son adoption; elle constitue sur le gaz le même progrès que celui-ci a été par rapport à l'antique éclairage à l'huile.

Matériel de la voie des chemins de fer économiques. — Notre collègue, M. J. W. Post, ingénieur de la compagnie des chemins de fer de l'État néerlandais, a adressé à la Société une brochure intitulée, *La voie des railways économiques* [1].

Une partie de ce travail avait paru dans la *Revue Générale des Chemins de fer*, numéro de mars 1883, mais l'auteur l'a considérablement augmenté. Le type de voie qui fait l'objet de cette note a été employé sur la première ligne du réseau économique à voie normale des Pays-Bas, celle de Gueldre-Overyssel, de 135 kilomètres de longueur.

C'est une voie à rail d'acier sur traverses en bois; rails Vignole de 25 kilogrammes, et 9 mètres de longueur normale, pour charge maxima de 10 tonnes par essieu.

Cette voie paraît étudiée avec beaucoup de soin et ne peut manquer de donner de très bons résultats.

Le travail de M. Post très complet et accompagné de quatre planches sera consulté avec fruit par les ingénieurs qui ont à s'occuper de la construction des lignes économiques; nous signalerons particulièrement à leur attention, l'étude des changements de voie, le calcul de leurs éléments, les instructions pour le rabotage des aiguilles et pour la pose de la voie, qui sont d'une utilité pratique immédiate.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MAI 1884.

Rapport de M. ÉDOUARD SIMON, sur les **perfectionnements apportés au bobinoir de la laine peignée**, par M. BAZILIER.

Ces perfectionnements portent sur l'étirage, la friction et l'envidage;

1. Librairie C.-H.-E. Breijer, à Utrecht.

appliqués dans la filature que dirige l'inventeur, ils ont permis de porter de 90,000 à 110,000 kilogrammes la production annuelle de la laine filée avec le même nombre de broches.

Rapport de M. E. Dumas, sur les **crayons vitrifiables et les moufles portatifs** de M. Lacroix.

Ces crayons, destinés à servir sur biscuit ou sur verre, et composés de manière que leurs teintes ne se modifient pas par la chaleur nécessaire pour les fixer, donnent des effets de décoration très agréables. Des moufles en terre réfractaire, très ingénieusement combinés et d'un volume très restreint, permettent d'opérer à domicile sans embarras et avec sécurité la cuisson des objets ainsi décorés.

Rapport de M. Lavollée, sur **l'Album de statistique graphique**, publié par le Ministère des travaux publics.

Notice nécrologique sur sir William Siemens, par M. Mascart.

Notice sur les travaux de M. Quintino Sella, par M. Daubrée, membre de l'Académie des sciences.

Communication de M. Haton de la Goupillière sur un **nouvel appareil pour l'extraction des mines**.

Cet appareil destiné à régulariser la puissance motrice, a été installé récemment au puits Camphausen, des houillères de la Sarre.

Les deux cables d'extraction, dont l'un monte pendant que l'autre descend, passent comme d'habitude sur deux molettes placées l'une à côté de l'autre et vont s'enrouler en sens inverse sur un tambour cylindrique; l'axe de ce tambour porte deux troncs de cône sur lesquels s'enroule une corde relativement faible qui supporte une poulie mobile avec un contrepoids. On comprend que le moment de l'effet de ce contrepoids, variable avec le rayon d'enroulement, peut se combiner avec la variation de poids du cable d'extraction pour donner une différence qui soit sensiblement constante.

Chemin de fer à chaîne flottante des mines de Bicido (Espagne), communication de M. Brüll.

Lettre de M. le ministre du commerce à M. le Président du conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, relative au **service des brevets d'invention**. (Voir comptes rendus de mai 1884, page 620.)

Industrie des huiles de naphte du Caucase. (Extrait de l'*Engineering*.)

JUIN 1884.

Rapport de M. H. Peligot, sur **une brosse mécanique pour nettoyer les bannetons de boulangerie**, par M. Boulais.

Les bannetons ou paniers dans lesquels on met lever la pâte avant de la porter au four, sont revêtus intérieurement d'une toile à laquelle s'attachent des pellicules de pâte qui finissent par s'agglomérer et, en s'attachant au pain, lui donnent un mauvais goût. On est donc obligé de nettoyer ces bannetons avec des brosses de chiendent, travail qui est relativement cher et qui détruit rapidement les toiles.

M. Boulais, chef de mouture à la boulangerie centrale des hôpitaux, a eu l'idée de substituer au travail à la main, l'action d'une brosse mécanique en forme de pomme de pin, tournant sur un axe vertical. Cet appareil fonctionne avec succès depuis 1881, à la boulangerie centrale des hôpitaux.

Rapport de M. E. Dumas, sur les **dépôts électro-chimiques de couleurs variées**, de M. F. Weill.

M. Weill est parvenu à revêtir instantanément, à la température ordinaire et au moyen d'un seul et même bain, tous les métaux usuels et leurs alliages, d'une couche mince adhérente de cuivre, présentant à volonté les couleurs les plus vives et les plus variées ; ces couleurs paraissent dues à la production d'oxydes de cuivre très divers et de composition non encore déterminée. M. Weill n'a pas fait connaître les procédés qu'il emploie.

Rapport de M. Édouard Simon, sur le **nouveau désembrayage** et le **casse-fil indépendant**, de M. Emmanuel Buxtorf.

Ces appareils sont adaptés aux métiers circulaires à faire le tricot pour produire l'arrêt automatique du métier au cas où un fil vient à casser; ce casse-fil est dit indépendant, parce qu'il peut obéir à de légères variations de tension, sans occasionner un désembrayage inopportun; le débrayage se produit également lors d'accidents autres que la rupture d'un fil, tels que, une *maille coulée*, un *trou* dans le tricot, une *aiguille chargée*, etc.

Rapport de M. Ad. Carnot, sur la **trempe de l'acier par compression**, de M. Clemandot.

Notice nécrologique sur M. Bontemps, par M. E. Peligot.

Communication de M. Haton de la Goupillière, sur deux propositions de M. Lechien, relatives à la **lampe de sûreté pour les mines à grisou.**

Ces propositions sont relatives : 1° à une modification de la lampe Mueseler qui permet de l'ouvrir et de la refermer en un instant, tout en lui

laissant à l'ordinaire le caractère de lampe de sûreté, ce qui permet facilement le rallumage; 2° à une disposition de *tube-mouchettes* pour les lampes de sûreté. M. Lechien signale des expériences faites par lui, et desquelles il résulterait qu'un trou de 4 à 5 millimètres laisse passer facilement l'inflammation; or le trou de 3 millimètres qui, dans beaucoup de types de lampes, laisse passer la mouchette, peut facilement par le frottement ou la rouille, arriver à une dimension qui pourra amener les conséquences les plus dangereuses.

Communication de M. Abt, sur les **chemins de fer à crémaillère**.

Industrie des huiles de naphte du Caucase (*suite et fin*).

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

JUILLET 1884.

Paroles prononcées sur la tombe de M. Frécot, inspecteur général des ponts et chaussées, par M. Chatoney, inspecteur général des ponts et chaussées.

Nouvelle distribution des eaux de Dieppe. — Mémoire par M. Alexandre, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La ville de Dieppe a été alimentée d'eau jusqu'en mai 1882, par une dérivation des sources de Saint-Aubin-sur-Scie, établie dès 1558. Ce travail fait par Pierre Toustain, maître fontainier de Rouen, avait exigé vingt-trois ans de travaux; c'était une conduite double en terre cuite de 7 pouces de diamètre entourée d'un massif de maçonnerie, traversant, par un souterrain de plus de deux kilomètres et demi, le faîte qui sépare la vallée d'Arques de celle de la Scie.

Cette canalisation avait exigé des réparations incessantes et était tout à fait insuffisante, d'autant plus qu'elle ne pouvait alimenter directement les parties hautes de la ville.

La municipalité fit étudier, il y a une dizaine d'années, les moyens de mettre la distribution de la ville de Dieppe en rapport avec ses besoins et s'arrêta à un projet étudié par M. Lavoinne, ingénieur des ponts et chaussées, consistant à amener à Dieppe 80 litres d'eau par seconde pris à la source de Saint-Aubin par un aqueduc en maçonnerie de $0^{m},80$ sur $1^{m},40$ de section et $0^{m},10$ de pente par kilomètre, traversant par un siphon la vallée de la Scie et traversant le coteau par un souterrain de 2 kilomètres.

Le parcours total devait être de 6,440 mètres. Cette disposition donnait une charge disponible de 10 mètres sur les parties élevées de la basse ville. Une partie du volume d'eau devait être élevée par moyens mécaniques pour alimenter les quartiers hauts.

Ce travail a été exécuté dans les conditions indiquées, sauf pour la seconde partie. On avait d'abord songé à élever l'eau pour les quartiers hauts avec une force hydraulique produite par une partie de la dérivation au moyen d'une chute de 15 mètres. Mais, l'absorption d'eau nécessitée par l'emploi d'un moteur hydraulique présentant des inconvénients de divers genres, on trouva préférable d'employer une machine à vapeur.

Le moteur fourni par MM. Windsor et fils, de Rouen, se compose de deux machines à balancier de Woolf, actionnant chacune directement deux pompes verticales à simple effet. La vapeur est produite par deux chaudières à bouilleurs timbrées à 6 kilog. L'eau est refoulée par une conduite de $0^m,15$ de diamètre et 1,532 mètres de longueur dans un réservoir donnant une différence de niveau de $81^m,50$.

Chaque machine développe de 27 à 28 tours de 18 à 19 chevaux en eau montée avec une consommation qui est descendue aux essais à $1^k,60$ de charbon par cheval en eau montée et par heure.

Les dépenses se sont élevées au total de 1,200,000 francs en nombre rond, dont 576,000 francs pour l'adduction des eaux, 491,000 pour la distribution intérieure, 31,000 pour les machines élévatoires, 60,000 francs pour les acquisitions, indemnités de terrain et 42,000 francs pour les frais de personnel, études et exécution.

On peut compter sur une recette d'au moins 45,000 francs ; les dépenses étant d'une quinzaine de mille francs, le produit net ressortira à 2 1/2 pour 100, de sorte que la ville de Dieppe s'est assurée une distribution d'eau abondante et gratuite pour la population moyennant un sacrifice annuel de 20,000 francs environ, ce qui est modéré relativement à l'importance de son budget qui dépasse un million. On peut donc considérer la solution adoptée comme très satisfaisante.

Note sur la situation financière et l'exploitation du port de Liverpool, par M. Colson, ingénieur des ponts et chaussées, maître des requêtes au conseil d'État.

ANNALES DES MINES.

1re *livraison de* 1884.

Mémoire sur le **bassin houiller du Lancashire**, par M. Luuyt, ingénieur des mines.

Ce travail très important est une étude complète du bassin houiller du Lancashire qui mesure environ 50 kilomètres sur 10, tant au point de vue de sa constitution géologique qu'à celui de son exploitation. Les richesses houillères qui y sont contenues, sont telles qu'en supposant que l'extraction, qui est actuellement de 20 millions de tonnes par an, aille en augmentant de 200,000 tonnes par an, la quantité disponible jusqu'à 1,200 mètres de profondeur suffirait encore pour 125 à 150 ans. Si avec cela on compte que le perfectionnement des engins mécaniques permettra d'exploiter plus tard à des profondeurs supérieures à 1,200 mètres, on voit qu'un long avenir de prospérité est encore réservé à cette région.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Il a été extrait en 1883, 21,446,199 tonnes de combustibles minéraux dont 20,887,092 de houille et anthracite et 559,107 de lignite. L'extraction totale de 1882, avait été sensiblement la même 20,603, 704.

Il a été produit 2,067,387 tonnes de fonte, dont seulement 54,000 tonnes de fonte au bois, 968,000 tonnes de fer, dont 833,000 de fer puddlé, 39,000 de fer affiné au charbon de bois et 95,000 de fer de riblons; il y a une diminution de 100,000 tonnes environ sur l'année précédente. Les rails entrent dans le chiffre de la production seulement pour 19,000 tonnes.

Enfin la production de l'acier, s'est élevée à 509,000 tonnes, en augmentation de 50,000, soit 10 pour 100, sur l'année précédente.

Ce chiffre se divise en 329,460 tonnes d'acier Bessemer, 154,700 d'acier Siemens-Martin, le reste consiste en de petites quantités d'acier puddlé, cémenté ou fondu au creuset. Les rails figurent pour 380,000, soit 4,500 tonnes de plus qu'en 1883. On voit d'après ces chiffres que la fabrication des rails de fer n'a pour ainsi dire plus lieu en France.

Étude sur **la teneur en fer et en manganèse des minerais de Rancié (Ariège)**, par M. Carcanagues, ingénieur des mines.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1882 par les ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.

Note sur la **théorie des bobines d'extraction**, par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur en chef des mines.

Rapport présenté à la Commission centrale des machines à vapeur, au nom de la sous-commission chargée des **études et expériences relatives à l'eau surchauffée**, par M. HIRSCH ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Ces expériences ont été faites à la suite d'une note présentée à l'Académie des sciences, dans laquelle M. le commandant Trève attribuait un grand nombre d'explosions de chaudières à un état particulier de l'eau, connu sous le nom de surchauffe.

La sous-commission, prise dans le sein de la commission centrale des machines à vapeur et composée de M. Tresca, Forquenot, Hirsch, Peschart d'Ambly et Lûuyt, s'est occupée d'étudier les conditions de production de la surchauffe et les conditions qui l'empêchent de se produire ou la détruisent à sa naissance.

Toutes les recherches de la sous-commission n'ont pu lui faire découvrir aucun fait d'explosion pouvant être positivement attribué à la surchauffe.

Il a été alors fait des expériences dans l'ordre ci-après.

1° On a chauffé de l'eau dans des vases en verre.

2° On a mis une chaudière en observation, en recherchant si le manomètre n'éprouverait pas quelque mouvement anormal.

3° On a mis en expérience une autre chaudière et l'on a cherché à saisir les différences de température qui pourraient se produire entre la vapeur et l'eau.

4° On a disposé une petite chaudière spéciale, munie d'appareils de mesure, et l'on s'est efforcé d'accumuler dans cette chaudière les conditions considérées comme les plus favorables à la production de la surchauffe.

Dans la première série d'expériences, on a constaté que, si l'ébullition de l'eau pure et des solutions salines ou alcalines ne donnent lieu qu'à des soubresauts insignifiants, l'eau acidulée donne lieu à une surchauffe très nette, mais seulement de 2 à 3 degrés avec de forts soubresauts et des projections violentes.

Les expériences de la deuxième série ont été faites au chemin de fer d'Orléans sur la chaudière de la scierie. Les observations n'ont rien indiqué d'anormal dans la marche du manomètre à l'ouverture de la prise de vapeur.

Dans la troisième série d'expériences faites sur la chaudière du Conservatoire des Arts et Métiers, on a étudié les différences de température entre la vapeur et l'eau de la chaudière pendant une longue période, au moyen d'une pile thermo-électrique ; l'écart a toujours été inférieur à 2 degrés.

Enfin les expériences faites au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, au Trocadéro, sur une petite chaudière de 21 litres de capacité

chauffée au gaz dans lesquelles on a également recherché les différences de température pouvant se produire entre la vapeur et l'eau, n'ont donné que des écarts inférieurs à 2 degrés, lesquels peuvent être attribués en grande partie aux thermomètres et n'ont jamais fait apercevoir de mouvement anormal dans l'aiguille du manomètre.

Les conclusions de la sous-commission sont :

Il n'est nullement démontré, quant à présent, que la surchauffe de l'eau ait causé aucune explosion de chaudière, ni qu'elle se soit jamais produite dans les générateurs de l'industrie.

Si elle se produit, ce n'est que dans des cas extrêmement rares et par un concours de circonstances exceptionnelles, qui ne sont jusqu'ici ni définies ni connues.

Il n'y a donc pas lieu, pour le moment, d'examiner les remèdes qui ont été proposés pour combattre la surchauffe de l'eau dans les chaudières.

L'usage d'un instrument faisant connaître exactement la température de l'eau et la pression de saturation correspondante pourrait procurer quelques indications utiles à nos connaissances, à la condition que cet instrument ne fut employé qu'avec les précautions convenables.

La commission centrale des machines à vapeur a adopté ces conclusions.

2me *livraison de* 1884.

Mémoire sur divers **systèmes de voitures à vapeur** employées en Belgique et dans les provinces rhénanes, par M. Worms de Romilly, ingénieur en chef des mines.

Ce mémoire décrit les voitures Belpaire, 1er type, type de la ligne de Terneuzen et 2e type, puis la voiture Thomas employée en Allemagne.

Nous repoduisons le tableau contenant les données principales de chacun de ces types.

TYPES DE VOITURES A VAPEUR	PREMIER type Belpaire	VOITURE de Terneuzen	DEUXIÈME type Belpaire	VOITURE Thomas
Longueur totale de la voiture sans les tampons..........	11m,39	14m,10	12m,00	12m,18
Écartement des essieux extrêmes	6,80	10m,60	8,16	7 ,335
Poids de la voiture en ordre de marche, sans voyageurs....	18950k	25100k	21500k	27900k
Nombre de places — 1re classe.	22	»	10	6
Nombre de places — 2e »	»	»	10	35
Nombre de places — 3e »	22	69	32	40
Total.....	44	69	52	81
Charge maxima sur l'essieu moteur..................	9000k	10 à 10500k	8000 à 9000k	12650k
Diamètre des roues motrices...	0,98	0,95	0,98	1,086
Timbre de la chaudière......	10k	10k	10k	10k
Effort de traction $0,65 \frac{pd^2 l}{D}$..	570k	815k	570k	1040k
Diamètre des cylindres.......	0m,17	0m,20	0m,17	0m,22
Course des pistons..........	0 ,32	0 .32	0 ,32	0 ,36
Surface de chauffe..........	25 ,88	30 ,66	25 ,88	34 ,08
Surface de grille...........	0 ,52	0 ,77	0 ,52	0 ,52

Les conclusions de cette note sont que le 1er type Belpaire manque de puissance et ne peut remorquer une autre voiture sur un profil un peu accidenté; il ne peut donc convenir qu'à un trafic extrêmement faible.

Le 2e type ne fonctionne pas depuis assez longtemps pour qu'on puisse se prononcer sur les innovations qu'il renferme.

Le type de Terneuzen est satisfaisant comme puissance, puisqu'il peut remorquer deux voitures sur des rampes de 10 millimètres, mais la distance de 10m 60 des essieux extrêmes nécessite l'emploi de plaques tournantes de grandes dimensions aux extrémités de la ligne.

La voiture Thomas est encore plus puissante, mais on peut lui reprocher la charge excessive des essieux; de plus sa hauteur est telle qu'elle ne pourrait circuler, en France, que sur les lignes ne présentant ni tunnels, ni passages en dessus. La séparation de la machine et de la voiture qui est une des particularités de cette voiture ne semble pas devoir présenter d'avantages en pratique.

Il est à regretter que ce rapport, daté de novembre 1882, ne se soit occupé que d'un petit nombre de voitures à vapeur existantes et n'ait pas joint à leur examen celui des types Rowan, Weissenborn, Krauss etc., en essai ou en usage en Allemagne à cette époque.

Discours prononcé aux funérailles de M. Gentil, inspecteur général des mines, par M. G. de Nerville, inspecteur général des mines.

Etudes sur **les éruptions du Hartz**, par M. TERMIER, ingénieur des mines.

Ce mémoire très volumineux est consacré à l'étude de quelques points particulièrement intéressants de la région du Hartz, au point de vue de la géologie générale et la solution au moins approximative de quelques-uns des problèmes soulevés par l'examen de ce curieux pays.

Les questions traitées dans ce mémoire sont :

1° L'étude des diabases du Hartz, du métamorphisme qui s'y rattache, des gites avec lesquels elles sont en rapport;

2° L'étude des porphyres de toute espèce et de tout âge et des gites de fer qui leur sont subordonnés ;

3° L'étude des gabbros du flanc ouest du Brocken ;

4° L'étude du granite, de son âge, de son rôle probable dans le soulèvement du Hartz et dans la formation des filons remplis plus tard par des émanations métallifères.

COMPTES RENDUS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

DISTRICT DE BOURGOGNE.

Visite à la houillère de Decize, le 29 juin 1884.

Note sur la houillère de Decize, par M. BUSQUET.

Cette houillère dite, *La Machine*, située à 7 kilomètres de Decize, est reliée par un chemin de fer à voie de $1^m,10$ au canal du Nivernais et au chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerrannée ; un touage à vapeur traversant la Loire, dont un barrage mobile maintient le niveau, permet aux bateaux de passer du canal du Nivernais dans le canal latéral.

Il y a 9 couches de houille dont la puissance varie de $1^m,20$ à 3 mètres. Deux sont inexploitables, trois le sont partiellement; les quatre autres sont régulières. Le terrain houillier est très contourné et de plus coupé de nombreux accidents, failles et serrées. On exploite par gradins ; l'extraction se fait avec des bennes de 4 hect. 50, type Saint-Étienne, avec roues en acier.

Les puits, tous très anciens, sont carrés, boisés et guidés en chêne. Trois puits fournissent l'extraction, dont deux en pleine marche et un en préparation. Le plus éloigné est relié aux autres par un système de plans inclinés automoteurs et remorqueurs et par une voie secondaire de $0^m,50$ de large sur laquelle circulent les locomotives de 2 tonnes.

Une voie de $1^m,10$ d'écartement conduit les charbons bruts à un atelier de criblage et de triage, et de là au port, dans lequel passe aussi la voie du P-L-M. La traction sur la voie de $1^m,10$ est faite par des locomotives de 12 tonnes, traînant des wagons basculeurs chargés à 2 tonnes.

La houillère de *La Machine* extrait 220,000 tonnes par an, et emploie 1,400 ouvriers. L'eau nécessaire à la population et aux machines est prise dans un puits filtrant établi dans les sables du lit de la Loire et refoulée dans une conduite de 7 kilomètres de longueur avec 100 mètres de différence de niveau.

Deux cités servent à loger 200 ménages.

Des salles d'asile et des écoles reçoivent plus de 1,100 enfants des deux sexes.

DISTRICT DU SUD-EST.

Réunion du 8 *juillet* 1884.

Communication de M. Vialla, sur le **procédé Lagot pour le tirage à la poudre**. — Le procédé Lagot comprend diverses parties. La cartouche porte au fond un ressort en fil de fer enveloppé de papier et créant un espace vide entre la poudre et le fond du trou. Cette disposition doit donner, d'après l'inventeur, une économie de poudre et la suppression de la flamme et de la fumée. Les expériences ont fait voir une certaine économie dans le rocher [1]. Il y a eu à peu près autant de flamme et de fumée qu'avec les cartouches ordinaires.

La mèche de sûreté qui a une préparation spéciale n'a pas paru présenter d'avantages sur les autres mèches. Le tube protecteur au contraire paraît devoir rendre des services en préservant la mèche lors du bourrage et en évitant les ratés provenant de la détérioration de la mèche.

En résumé les avantages du procédé Lagot paraissent à M. Vialla peu importants au point de vue de la sécurité dans le tirage des coups de mines dans les chantiers où l'on peut craindre la présence du grisou.

Communication de M. Fumat sur **la lampe de sûreté système Fumat**.

Cette communication a trait à des modifications de la lampe déjà décrite précédemment, portant sur la disposition du tamis intérieur, et le moyen de fixation du porte-mèche, petits détails d'une assez grande importance pour la sécurité du fonctionnement.

MM. Mallard et Le Chatelier ont fait sur cette lampe des essais dans les mélanges de gaz d'éclairage et d'air, en repos et en mouvement. Les résultats ont été très bons. De plus une vingtaine de ces lampes ont été mises en

1. Voir ci-dessus, page 294.

service dans les mines à la satisfaction des ouvriers. Enfin ce système a été adopté par la Préfecture de police, pour les incendies, et 132 lampes ont été fournies au régiment des sapeurs-pompiers de Paris.

RÉUNIONS DE SAINT-ÉTIENNE.

Séance du 2 août 1884.

Communication de M. Boisson, sur **l'Amalgamateur Thenot.** — Le principe de cet appareil, destiné au traitement des minerais ou sables renfermant des métaux amalgamables, c'est-à-dire de l'or libre, de l'argent natif ou du platine, est basé sur le passage du minerai entraîné par un courant d'eau à travers des colonnes de mercure surmontées de colonnes d'eau en continuité. Les appareils employés sont des vases communiquants par des tubulures.

Les avantages sont l'augmentation du rendement (avec du quartz pulvérisé ou du sable aurifère on obtient 96 pour cent de l'or libre), la rapidité d'installation, le peu d'eau qu'il nécessite ; enfin la perte de mercure est insignifiante.

Des essais faits en février 1884 ont mis en évidence ces avantages.

Note de M. Criner sur **les chaudières à bouilleurs et à réchauffeurs.** Cette note signale l'intérêt qu'il y a à munir de réchauffeurs latéraux les chaudières à bouilleurs, au point de vue de la formation des dépôts qui n'a plus lieu dans la chaudière ou dans les bouilleurs, et à celui de l'abaissement de la température des gaz à la cheminée et de la meilleure utilisation du calorique qui en résulte.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

N° 31 — 2 Aout 1884.

Expériences sur le passage de l'eau à travers les couches de sable, par C. Kröber.

Nouvel établissement hydraulique de Stuttgart par H. Zobel (*fin*).

Propriétés physiques du coke de hauts fourneaux, par Fritz Lürmann.

Juxtaposition des diagrammes d'indicateur des deux cylindres d'une machine Compound, par R. Krause.

Appareils élévatoires. — Grues de port. — Noix pour chaînes de grues.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Dosage de la proportion de cendres des houilles. — Transmission de force à distance dans l'exploitation des mines.

Groupe de Hambourg. — Éclairage électrique des navires.

Groupe de Würtemberg. — Fabrication du ciment à Allmendingen et Blaubeuren. — Une fabrique de sucre il y a vingt ans et aujourd'hui.

Patentes.

Correspondance. — Régulateurs.

Variétés. — Lancements et essais de navires. — Réunion générale de l'Institut américain des ingénieurs mécaniciens. — Tramways de Berlin. — Éclairage électrique de la Perspective de Newski.

N° 32. — 9 Aout 1884.

Programme et ordre du jour de la vingt-cinquième réunion générale de l'Association à Manheim.

Sondages en mer, par K. Keller.

Expériences sur le passage de l'eau à travers des couches de sable, par C. Krober (*fin*).

Réglementation des poids et mesures et en particulier des balances, aux États-Unis.

Construction navale. — Stabilité des navires. — Nouveau cuirassé brésilien *Riachuelo.*

Régulateurs.

Groupe de Berlin. — Éclairage électrique par incandescence Édison, à Berlin.

Groupe de Würtemberg. — Une fabrique de sucre il y a vingt ans et aujourd'hui (*fin*).

Patentes.

Correspondance. — Régulateurs.

Variétés. — Essais du *Collingwood.*

N° 33. — 16 Aout 1884.

Réunion générale de l'Association à Manheim les 1, 2 et 3 septembre 1884.
Rapport et exposé des comptes pour l'exercice 1883. — Budget pour 1885.

Régularisation de la marche des machines à vapeur actionnant un arbre à manivelles, par H. Wehage.

Machine à vapeur de 60 chevaux, par W. Theis.

Fabrication de l'acier fondu sur sole, par R. M. Daelen.

Étude graphique des machines à vapeur à cylindres multiples, par S. Gottlob.

Groupe de Cologne. — Société de secours pour les ingénieurs. — Expériences sur les machines et chaudières à vapeur. — Organisation de la surveillance des chaudières.

Groupe du Rhin inférieur. — Modèles pour l'enseignement électrique. — Patentes. — Soudage de l'acier. — Cubilot avec exhausseur.

Groupe de la haute Silésie. — Règles à adopter dans les marchés pour la fourniture des constructions métalliques.

Patentes.

Bibliographie. — Parties techniques de la fabrication des monnaies, de E. Schlosser.

Correspondance. — Régulateurs.

Invitation à la conférence organisée dans le but de fixer les bases des essais à la résistance des matériaux.

N° 34. — 23 Aout 1884.

Réunion des travaux de l'Association pendant l'exercice 1883-84.

Régularisation de la marche des machines à vapeur actionnant un arbre à manivelles, par H. Wehage (*suite*).

Gaz à l'eau, influence de l'azote, par Fritz Lürmann.

Groupe de Breslau. — Essais des bandages pour chemins de fer.

Groupe de Siegen. — Travail des pièces de machines sous l'influence des efforts normaux, des masses en mouvement et des frottements. — Travail des arbres de machines à vapeur. — Appareils d'alimentation des chaudières.

Patentes.

Bibliographie. — Ouvrages adressés à la Société.

Variétés. Lancements et essais de navires. — Éclairage électrique du jardin zoologique à Berlin. — Falsification des ciments de Portland. — Assemblée générale de la Société technique d'hygiène.

N° 35. — 30 Aout 1884.

Régularisation de la marche des machines à vapeur actionnant un arbre à manivelles, par H. Wehage (*fin*).

Installation des appareils d'extraction et d'épuisement du puits Richter, à l'usine Laura, par Wolkmann et Frerichs.

Le charbon et son transport par mer, par le Dr A. Gurlt.

Ponts. — Nouvelle formule pour la résistance à la rupture. — Viaduc de Trisana sur le chemin de fer de l'Arlberg. — Réparation d'une pile de pont fondée sur pilotis. — Pont du Kirchenfeld à Berne. — Ouvrages d'art du New-York, West Shore and Buffalo Railroad. — Ponts sur la Tamise à Londres. — Pont mobile sur l'Ouse. — Pont Colmann à Singapoor. — Déplacement d'un pont. Pont Cobden à Southampton. — Pont Bismark.

Métallurgie. — Antimoine. — Nickel. — Or. — Argent.

Groupe de Bavière. — Transmission de mouvement entre arbres para par roues à friction.

Groupe de Wurtemberg. — Barrages mobiles.

Patentes.

Bibliographie. — Théorie analytique de la chaleur, de J. Fourier.

Variétés. Lancements et essais de navires. — Conférence pour l'ado de règles fixes dans les essais à la résistance des matériaux. — Cause avaries aux plaques tubulaires de boîtes à feu.

N° 36. — 6 Septembre 1884.

Nouvelle machine frigorifique, par R. Schottler.

Le charbon et son transport par mer, par le Dr A. Gurlt (*fin*).

Chaleur développée dans les gazogènes, par Fritz Lurmann.

Calcul de l'épaisseur des tubes des chaudières à vapeur.

Groupe de Hesse. — Usines à cuivre de Stadtberg.

Groupe du Rhin inférieur. — Expériences sur des chaudières avec appa fumivore de Wilmsmann. — Emploi d'un câble en remplacement d' chaîne dans un treuil roulant.

Bibliographie. — Éléments de mécanique pure de J. Finger.

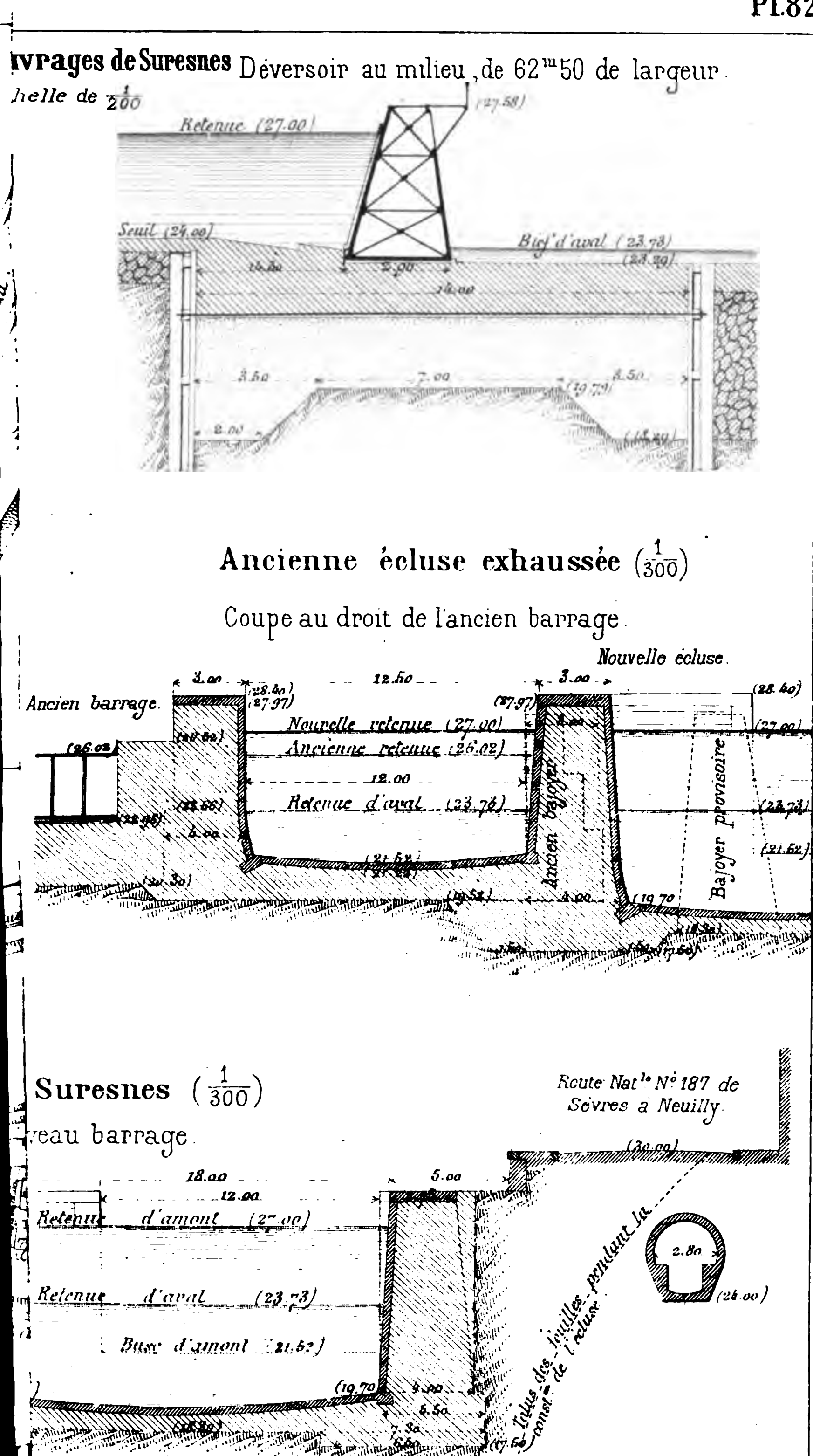
Correspondance. — Cubilot de Woodward. — Filtrage des eaux à tra le sable.

Variétés. — Lancements et essais de navires. — Le *Neptune* appa sous-marin. — Grande cheminée d'usine. — Les chemins de fer du mon — Bateau à vapeur en métal Delta. — Locomotive hydraulique. — Ex sition de Kœnigsberg.

Le Rédacteur de la Chronique,

A. MALLET.

Paris. — Impr. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.



ıvrages de Suresnes
Déversoir au milieu, de 62m50 de largeur
helle de 1/200
Retenue (27.00)
(27.58)
Seuil (24.00)
Bief d'aval (23.73)
(23.29)
2.00
14.00
3.50
7.00
3.50
2.00
Ancienne écluse exhaussée (1/300)
Coupe au droit de l'ancien barrage.
Nouvelle écluse.
Ancien barrage.
3.00
12.50
3.00
(28.40)
(27.97)
Nouvelle retenue (27.00)
Ancienne retenue (26.02)
12.00
Retenue d'aval (23.73)
(26.02)
(21.52)
Ancien bajoyer
Bajoyer provisoire
(19.70)
Suresnes (1/300)
veau barrage.
Route Natle No 187 de Sèvres à Neuilly.
(30.00)
18.00
5.00
12.00
Retenue d'amont (27.00)
Retenue d'aval (23.73)
Busc d'amont (21.52)
2.80
(24.00)
(19.70)
Talus des fouilles pendant la const. de l'écluse
11.90
20.00
(16.70) au droit des portes.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

OCTOBRE 1884

N° 10

Pendant le mois d'octobre, la Société a traité les questions suivantes :

1° *Réception des ingénieurs Belges et Hollandais* (séance du 3 octobre, page 316).

2° *Décès* de M. le baron Engerth (Lettre de M. Gottschalk) (séance du 3 octobre, page 319).

3° *Décès* de MM. Eugène Bourdon, Charles Manby et Browne (séance du 3 octobre, page 319).

4° *Stadia topographique*, mémoire de M. Jean Meyer présenté par M. Mallet (séance du 3 octobre, pages 321 et 349).

5° *Aéronautique* (Résumé de l'état présent de l'), présenté par MM. de Bruignac, Casalonga et Canovetti (séances des 3 et 17 octobre, pages 321, 331 et 393).

6° *Viaduc de Douarnenez* (Accident du), par M. Durupt (séance du 3 octobre, page 321).

7° *Ascenseurs hydrauliques pour canaux* (construction des corps de presses, par M. Seyrig) (séance du 17 octobre, page 329).

8° *Chemin de fer métropolitain*, projet de M. Haag présenté par M. Hauet (séance du 17 octobre, page 336).

Pendant le mois d'octobre, la Société a reçu :

De M. Hotchkiss des *Albums photographiques* représentant l'ensemble de la *fabrication importante d'armes* à Saint-Denis.

De M. Jean Meyer, membre de la Société, un mémoire sur la *Stadia topographique*.

De M. de Bruignac, membre de la Société, une note sur l'*État présent de l'aéronautique*.

De M. Paul Guéroult, membre de la Société, une notice sur les *Travaux exécutés à Saint-Denis* (*Seine*) *en* 1882 *et* 1883 *pour la distribution des eaux du puits artésien de la Déesse*.

De la Chambre de commerce de Dunkerque, un exemplaire du *Rapport sur les tarifs de chemins de fer soumis à l'homologation ministérielle par la Compagnie du Nord*.

De M. Ch. Tellier, membre de la Société, un exemplaire de son Étude sur la *Thermo-Dynamique*, *appliquée à la production de la force motrice et du froid*.

De M. de Comberousse, membre de la Société, deux exemplaires de sa Conférence sur le *Transport de l'Énergie* (*Extrait du compte rendu de la 12e session de l'Association française pour l'avancement des sciences*, *Rouen*, 1883).

De M. Clémandot, membre de la Société, un exemplaire du *Rapport de M. Carnot sur la trempe de l'acier par compression*, de M. Clémandot.

De M. de Coëne, membre de la Société, un exemplaire de sa Communication sur l'*Organisation des syndicats pour l'amélioration du port du Havre*, *de la Seine maritime et des docks de la Seine*, faite au Congrès, tenu à Rouen en 1883 par l'Association française pour l'avancement des sciences.

De M. Émile Trélat, membre de la Société, un exemplaire de sa Communication sur le *Water-Closet anglais*, faite au Congrès tenu à Rouen en 1883 par l'Association française pour l'avancement des sciences.

De M. Léon Dru, membre de la Société, un exemplaire de son Rapport sur *la Géologie et l'Hydrologie de la région de Bechtaou* (*Russie-Caucase*).

De M. Cacheux, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur la *Construction et l'organisation des crèches*, *salles d'asile*, *écoles*, *institutions de prévoyance*, *institutions de bienfaisance*, etc. (Texte et atlas).

De M. Cottrau, membre de la Société, deux exemplaires de sa brochure et des photographies représentant les expériences officielles qui ont été faites le 24 août dernier sur son système de *Ponts polytétragonaux portatifs*.

De M. Albert Gendebien, ingénieur, un exemplaire de son mémoire sur les *Théories des ventilateurs des mines*.

De M. Bandsept (Albert), membre de la Société, deux exemplaires de sa brochure intitulée : *Eclairage intensif par le gaz*, *phénomènes qui accompagnent la production de la lumière*, et un exemplaire de son mémoire sur les *Accumulateurs électriques et la mécanique de l'électrolyse*.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Costalla, présenté par MM. Brüll, Cotard et L. Martin.
Euchène, — Arson, Gigot et Schmitz.

Comme Membres Associés :

M. Raux, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'OCTOBRE 1884

Séance du 3 Octobre 1884.

PRÉSIDENCE DE M. Louis MARTIN.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er août est adopté.

M. LE PRÉSIDENT. Depuis notre dernière réunion il s'est produit un fait important dans notre Société.

Nous avons reçu à Paris, et nous leur avons fait les honneurs de notre capitale, un certain nombre de nos collègues Belges et Hollandais qui, antérieurement et chez eux, avaient si bien accueilli quelques-uns de nos collègues.

Ces messieurs sont venus au nombre de 125, et leur réception a eu lieu pendant les journées des 11, 12, 13 et 14 août dernier.

Un programme, que tous vous avez dû recevoir, avait été élaboré par une commission spéciale et j'ai le plaisir de vous faire connaître que, bien que très chargé, il a été rempli de point en point, grâce au bon vouloir de tous, et notamment, des différents industriels que nous avions mis à contribution, et des principaux fonctionnaires et directeurs des administrations et des établissements qu'il nous a été possible de faire visiter à nos invités. Qu'ils reçoivent les uns et les autres nos bien sincères remerciements.

Ce bon vouloir que nous avons rencontré partout, sans restriction, nous a permis d'étendre notre programme et de procurer, à tous ceux qui nous accompagnaient, d'agréables surprises.

1. Voir les Mémoires de la Société, nº de mai 1883.

C'est ainsi que, lors de la visite de l'hôtel de ville, où nous avons été reçus par MM. Huet et Couche, délégués de M. Alphand absent, il nous a été donné d'entendre, dans la belle salle des réunions du conseil municipal, une remarquable conférence de M. Couche sur l'alimentation d'eau de la ville de Paris; sur ses besoins, sur ses ressources et sur les projets à l'étude ou en cours d'exécution pour augmenter ces dernières.

Dans la visite faite aux égouts, du Châtelet à la place de la Madeleine, MM. Garnier et Mathelin, entrepreneurs de la ville, et nos collègues avaient eu l'attention de faire installer, vers le milieu du parcours, un buffet brillamment éclairé à la lumière électrique et où fut distribué, à profusion, un champagne dans lequel, nous nous plaisons à le croire, il n'entrait pas la moindre goutte de l'eau qui coulait sous nos pieds.

A l'usine de Clichy, dont M. Durand-Claye nous a fait les honneurs avec sa bonne grâce habituelle, cet habile ingénieur nous a fait une exposition saisissante, du système d'assainissement des rues et des immeubles de Paris qu'il préconise, et a plaidé en faveur du projet du tout à l'égout.

Après l'avoir entendu on est bien près d'être convaincu, et c'est sous cette impression que nous avons visité la plaine de Gennevillers et notamment le champ d'expérience de la ville de Paris pour l'épuration des eaux par le sol.

Nous avons pu nous désaltérer, et je crois que nous nous sommes tous donnés cette satisfaction, en buvant, à la sortie des terres, à l'aval, une eau fraîche, claire, sans odeur et qui ne paraissait avoir rien de commun avec celle que nous avions vue à l'entrée, à l'amont, aussi noire et aussi nauséabonde que possible.

Au retour, lorsque fut terminée la visite de l'importante usine à gaz de Clichy, sous la conduite des principaux chefs de services de la Compagnie Parisienne, nous nous y sommes trouvés réunis sous une vaste halle où des rafraîchissements avaient été gracieusement préparés et où il nous a été possible, en adressant nos remerciements à tous, de porter un toast à M. Camus, directeur de la Compagnie, au nom duquel nous avions été si bien reçus.

Pareille réception nous a été faite chez M. Christofle, à Saint-Denis.

Le voyage de Paris à Saint-Germain, par la Seine, a eu un caractère particulièrement agréable et intéressant.

Les deux bateaux *Hirondelles*, tout pavoisés, qui portaient les excursionnistes et marchaient de conserve, ont fait une première escale à Suresnes, où ils ont été rejoints par quelques-uns d'entre nous qui étaient venus, par le tramway, dans une voiture mixte à vapeur présentée par un de nos collègues, M. Edmond Roy; puis tous se sont dirigés sur le barrage où ils ont été reçus par M. l'ingénieur en chef de la navigation de la Seine, M. Boulé, assisté de tout son personnel.

Cet habile ingénieur a fait, avec son amabilité ordinaire, un exposé complet des opérations entreprises, sur ce point, pour élever le niveau d'eau du bief d'amont qui s'étend jusqu'à Paris et au delà et il a donné, à ses auditeurs, les explications les plus détaillées sur les travaux exécutés et sur ceux en cours.

Dans une seconde escale, à Bougival, il a montré le fonctionnement, facile et prompt, des portes d'écluse mises en mouvement par la force hydraulique.

La visite du musée de Saint-Germain, en outre de l'intérêt qu'elle présentait en elle-même, a été rendue plus particulièrement agréable et instructive par les indications données, avec la plus grande bienveillance, par son savant et habile directeur M. Bertrand.

Pour le retour, sur Paris, la Compagnie internationale des wagons-lits avait organisé, fort obligeamment, un train spécial dans lequel un dîner et des rafraîchissements furent offerts, par elle, à ses invités.

Enfin, la réception officielle s'est terminée au Conservatoire des arts et métiers dont les salles, brillamment éclairées, avaient été mises libéralement à notre disposition par son directeur, M. le colonel Laussedat, et où, après une intéressante conférence de notre collègue, M. Picou, sur l'éclairage électrique, nous avons pu, réunis autour d'un buffet dressé dans la salle dite *des Échos*, porter un dernier toast à nos invités et boire de nouveau à l'union de tous les ingénieurs.

Le banquet du premier jour avait été très brillant et la soirée qui l'a continué, égayée par un excellent orchestre, s'est prolongée fort tard.

Je ne vous ai parlé que des surprises ajoutées à notre programme; un compte rendu détaillé, accompagné du texte de quelques-unes des communications qui nous ont été faites, vous sera prochainement adressé.

Votre Commission a pu, grâce au zèle éclairé et dévoué de notre secrétaire archiviste, M. Husquin de Rhéville, aidé de son fils, mener à bien la tâche dont vous l'aviez chargée.

Permettez-moi de vous demander, en son nom, la permission d'adresser nos remerciements sincères à ces deux messieurs.

M. Husquin de Rhéville père avait, en outre, été plus particulièrement chargé d'assurer l'installation matérielle de nos invités.

Pour reconnaître ses bons soins, ces Messieurs lui ont offert un très beau bronze représentant l'Aurore, œuvre d'un de leurs compatriotes.

En dehors de cette réception, il ne s'est produit pendant vos vacances aucun fait particulier pouvant intéresser la Société.

Seule, l'Association pour l'avancement des sciences a tenu son Congrès

annuel à Blois, et M. Tresca, notre président honoraire, a été appelé à y prononcer l'éloge de Papin.

J'ai le regret de vous annoncer le décès de MM. Mollard, Browne, Charles Manby, Eugène Bourdon et celui de M. le baron d'Engerth, un de nos membres honoraires. M. Gottschalk a bien voulu nous rédiger la note suivante sur cet ingénieur distingué.

La Société des Ingénieurs civils a eu le malheur de perdre, le 4 septembre dernier, l'un de ses membres honoraires les plus illustres, M. le baron Guillaume d'Engerth.

Permettez-moi de vous rappeler en quelques mots la carrière de cet ingénieur éminent, parti de l'origine la plus modeste pour s'élever par son intelligence et son travail opiniâtre aux fonctions les plus élevées.

M. d'Engerth, né le 26 mai 1814, fit ses études à l'École polytechnique de Vienne, et, après avoir débuté dans la pratique en Galicie, devint bientôt l'adjoint de son professeur de mécanique, M. le baron de Burg, que notre Société comptait également parmi ses membres honoraires les plus marquants.

Devenu à son tour professeur des cours de mécanique et de construction de machines à l'École polytechnique de Graz, M. d'Engerth prit part à l'établissement d'une des premières usines à gaz, à Graz, et entra en relation avec les ingénieurs chargés de la construction de la ligne du Semmering.

Ses travaux et ses qualités exceptionnelles appelèrent l'attention du gouvernement, qui lui confia la position d'ingénieur-conseil de la direction des chemins de fer de l'État.

C'est de cette époque que datent ses premiers travaux pour la construction de locomotives pour fortes rampes, et ce sont ses études qui aboutirent à la machine dite Engerth qui resta longtemps le type de machines-locomotives puissantes, non seulement en Autriche, mais par toute l'Europe, et qui fut couronnée aux expositions universelles de Londres, en 1851, et de Paris, en 1855, par une grande médaille d'or et le diplôme d'honneur avec bannière.

C'est vers la même époque que M. d'Engerth entra à la Société autrichienne des chemins de fer de l'État comme directeur du matériel et de la traction et comme adjoint au directeur général de cette entreprise, M. l'inspecteur général des ponts et chaussées, Maniel.

M. d'Engerth ne cessa dès lors d'appartenir à cette grande compagnie de chemins de fer, et, au moment de sa mort, il était encore son conseiller technique à Vienne, fonction qu'il exerçait depuis l'année 1879. M. d'Engerth, que son amour de l'art de l'ingénieur rendait apte à embrasser toutes les branches de la profession, prit une part considérable à l'étude et à l'exécution de la régularisation du Danube dans les environs de Vienne, à l'exécution des bâtiments et à l'organisation générale de la remarquable exposition universelle de 1873 dont il était l'ingénieur en

chef; enfin, tous nos collègues se rappelleront avec quel soin et quelle ardeur il leur exposait lui-même, en 1880, ses dernières études pour la porte flottante du canal du Danube destinée à protéger la capitale de l'Autriche contre l'arrivée des glaces et par suite contre les inondations du fleuve.

Cette œuvre a été la dernière de cet éminent ingénieur qui én adressait une description à la Société il y a peu de semaines encore.

Nous ne devons pas oublier non plus que M. d'Engerth a été l'un des fondateurs et l'un des présidents le plus souvent renommés de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne, avec laquelle notre Société entretient depuis si longtemps les rapports les plus cordiaux.

En somme, M. d'Engerth est un des hommes qui ont porté le plus haut le drapeau du génie civil, et l'on peut dire que depuis 1852 il a fait partie de toutes les commissions internationales chargées d'organiser les expositions universelles de toute l'Europe, et pris part à tous les grands travaux exécutés en Autriche-Hongrie. Son type de machine-locomotive a fait son nom européen et des spécimens de ce type circulent encore sur les chemins de fer français.

L'Autriche a reconnu et récompensé ses travaux en lui accordant successivement toutes les décorations, et en le nommant baron et membre à vie de la Chambre des Seigneurs; la France lui accordait, en 1873, la distinction de commandeur de la Légion d'honneur.

Qu'il me soit permis d'ajouter que durant sa longue carrière de près de trente ans à la Société Autrichienne-Hongroise des chemins de fer de l'État, M. le baron d'Engerth a constamment collaboré avec des ingénieurs français et que jamais, depuis dix-sept ans que j'ai l'honneur de le connaître, je n'ai entendu que faire son éloge aussi bien par les directeurs généraux, ses chefs et collaborateurs, que par les chefs de service et ingénieurs placés sous ses ordres.

A ces différents titres, je suis persuadé que la Société des Ingénieurs civils de France voudra bien joindre sa voix à celle de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne, pour déplorer la perte que vient de faire le génie civil dans la personne du baron d'Engerth, et qu'elle exprimera ses sentiments de sympathique condoléance au président de cette Société, M. le conseiller supérieur de construction, Schmidt, également un des plus éminents membres honoraires de notre Société.

Nous ferons ce qu'il conviendra de faire pour donner satisfaction au désir exprimé par M. Gottschalk, et nous adresserons une lettre de condoléance à M. Schmidt, ainsi qu'il le demande.

Je donne la parole à M. Tresca pour vous lire une note sur la vie de M. Eugène Bourdon. (Voir cette note, page 415.)

M. Tresca. Si M. le Président me le permet, je me charge de l'éloge à faire de M. Charles Manby, dont j'étais l'ami.

M. le Président. Nous vous en serons très reconnaissants.

M. le Président fait part de la nomination de M. Charles Guillaume comme chevalier de l'Ordre de Léopold de Belgique.

M. Mallet présente à la Société un mémoire qui lui a été adressé par M. J. Meyer, ingénieur en chef de la Compagnie de la Suisse-Occidentale et du Simplon sur les méthodes de levé des plans et de nivellement au moyen de la stadia topographique. (Voir le Mémoire, page 349.)

M. de Bruignac présente le résumé de l'état présent de l'aéronautique, que l'essai fait le 9 août par MM. Renard et Krebs à l'École aérostatique de Chalais-Meudon a placée brillamment à l'ordre du jour. (Voir le Mémoire, page 393.)

M. Cotard demande si l'on n'a pas essayé d'autres propulseurs d'un rendement meilleur que celui de l'hélice; par exemple, un appareil analogue aux pompes qui propulsent les bateaux en refoulant l'eau à l'arrière.

M. de Bruignac répond qu'en fait les aéronautes n'ont réellement essayé que l'hélice. Il ne serait pas possible d'aborder ce soir l'examen comparatif des divers propulseurs; mais M. de Bruignac ne serait pas surpris que cette comparaison tournât plus à l'avantage de l'hélice qu'il ne semble probable à première vue.

M. le Président. Cette communication vient très à point, après les expériences qui ont été faites; par conséquent, nous ne pouvons que remercier M. de Bruignac d'avoir traité cette question si intéressante.

M. Durupt donne communication de sa note sur le viaduc de Douarnenez (Finistère). Accident du 10 décembre 1883. Relèvement de la travée tombée, 2 août 1884. (Constructeur, Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, à Nantes.)

Ce viaduc, destiné à relier la gare de Douarnenez à la ville, franchit, à 26 mètres de hauteur, un bras de mer qui est à sec à marée basse.

Il est en trois travées chacune de 58 mètres reposant sur deux culées et deux piles en maçonnerie.

Le tablier est composé de deux poutres en treillis multiples (sans montants) ayant $5^{m},60$ de hauteur et espacées d'axe en axe de $5^{m},50$.

La voie charretière est à la partie supérieure, elle est prévue en voûtins en briques reposant sur des entretoises fixées aux poutres par-dessus les semelles. La largeur d'axe en axe des garde-corps est de $7^{m},60$ et la distance des poutrelles de $1^{m},40$. Des contreventements verticaux réunissent les poutres entre elles tous les $5^{m},80$. Haut et bas existent aussi des contreventements horizontaux.

Lorsque l'accident est arrivé, le pont avait déjà franchi la première travée et 54 mètres de la deuxième; il ne lui restait donc plus que 4 mètres à franchir pour atteindre la seconde pile.

Le poids de la partie qui était en porte à faux est évalué à 170 tonnes environ, et comme elle mettait en équilibre une partie équivalente de la deuxième travée, les galets portaient une charge de 340 tonnes, soit 170 par chaque paire. Un axe s'étant rompu, le galet a culbuté, puis le caisson, et enfin le caisson d'en face. La partie en porte à faux de 54 mètres est descendue en tournant autour d'un axe horizontal passant près des membrures supérieures qui se sont ployées et étirées, tandis que celles inférieures étaient refoulées de $2^{m},50$ sur elles-mêmes et tordues de manière à former d'énormes boucles. Il est à remarquer que quelques déchirures seulement suivant les lignes de rivets se sont produites, mais qu'il n'y a pas eu brisure, à proprement parler, soit dans les parties tendues, soit dans les parties comprimées.

Après l'accident, on a trouvé les deux caissons de la première pile désemparés, le pont étant resté droit et reposant sur les caissons eux-mêmes qui étaient fortement déviés de leur direction primitive dans les deux sens.

Pendant la chute, les deux autres travées qui formaient la queue du pont ont marché en avant de près de 2 mètres, mais elles n'ont subi aucune détérioration.

La chute de cet important ouvrage doit donc être attribuée à la rupture de l'axe du galet qui a provoqué une descente brusque de $0^{m},30$ de la poutre et, par suite, un effort tel que les semelles inférieures ont été refoulées.

L'extrémité du pont est venue toucher le fond avec violence et a été abîmée sur 5 mètres de longueur environ. Le reste n'a pas subi de déformation appréciable.

Le diamètre des axes était de 120 millimètres, il y avait sur la pile deux galets sous chaque poutre montés sur un caisson en tôle oscillant autour d'un axe transversal, suivant l'usage.

Chaque axe de galet présentant une double section de cisaillement, c'est-à-dire

$$4 \times 11310 \ {}^{m}/_{m}{}^{2} = 45240 \ {}^{m}/_{m}{}^{2}$$

il en résultait un effort de $\dfrac{170,000^{k}}{45,240} = 3^{k},76$ par millimètre carré, chiffre très faible. Ce n'est donc pas l'excès de cette charge qui a dû faire rompre l'un des axes et l'on a constaté en effet un défaut grave dans le métal. L'acier était trop vif et dans la section de rupture sur une grande étendue il y avait une apparence de décollement transversal caractérisé.

Il convient d'ajouter cependant que sur 4 ou 5 mètres en avant de la brisure les membrures inférieures étaient déjà ondulées et cela de plus en plus profondément, à mesure qu'on se rapprochait des galets, c'est-à-dire que l'effort tranchant était le plus grand et il faut aussi rapprocher ce fait de l'absence de montants verticaux dans les poutres. Peut-être eût-il été bon (puisque le projet n'en comportait pas) de raidir les âmes des

poutres par des montants en bois de fort équarrissage dans la zone la plus fatiguée par l'effort tranchant.

Pendant le premier lançage, la flèche prise par l'extrémité du pont au moment d'atteindre la première pile, a été de 34 centimètres environ.

Au lançage de la deuxième travée, la flèche, avant l'accident, avait atteint environ 48 centimètres.

Cette différence entre deux flèches qui, à priori, sembleraient devoir être les mêmes, doit provenir assurément de ce que le fer fatigué par la première opération, a perdu une partie de son élasticité. Enfin, il y a aussi un glissement possible des tôles les unes sur les autres qui, malgré l'excellence de la rivure, a pu produire un allongement très faible de la membrure supérieure tendue.

On s'est demandé comment il se faisait que le pont n'ait pas été déversé d'un seul côté d'abord, puisqu'il n'y a eu rupture que d'un côté, et pourquoi, une fois tombé, il s'est trouvé être resté dans l'axe et appuyé carrément sur l'angle de la pile?

Ce fait n'a pas été encore bien expliqué quoiqu'il paraisse très certain que l'accident ait eu lieu d'abord d'un côté et puis de l'autre successivement. En résumé, pendant la chute, y a-t-il eu rotation autour d'un axe horizontal, puis, au moment où l'extrémité a touché le fond, la travée inclinée et déversée s'est-elle redressée?

Dans les environs de la cassure, les barres du treillis sont formées par

2 cornières 130.130.15
et 1 âme 200 $\times$ 20
les nervures des poutres ont 500.15;
les cornières des membrures 130.130.15;
les semelles 550.15, il y avait 5 épaisseurs.

Le lançage a eu lieu au moyen de grands leviers à cliquet montés sur les galets. Les quatre hommes qui pendant la manœuvre marchaient à reculons furent précipités à la mer; l'un d'eux mourut quelques heures après, les autres ne furent que blessés.

Relèvement du pont. — La travée tombée étant restée intacte sauf les 5 mètres de l'extrémité, il fut décidé de la relever d'un bloc. A cet effet, on établit dans la partie infléchie des âmes supérieures des poutres, au moyen de plusieurs doublures en tôles rapportées sur les âmes, et d'un axe en acier de 100 millimètres de diamètre, une véritable charnière ayant pour but de suspendre la partie tombée à celle restée en place. On délivra les treillis et les semelles faussés pour séparer les deux parties et on consolida leurs appuis.

L'autre extrémité noyée dans la vase fut alors saisie au moyen de quatre chaînes doubles qui, après avoir fait retour sur des galets établis au sommet d'une charpente de hauteur convenable, vinrent s'amarrer à une caisse à eau rectangulaire de 80 mètres cubes de capacité destinée à

former un véritable contrepoids. Toutes les précautions furent prises pour que les huit brins de chaînes travaillassent également pendant la descente de la caisse. A cet effet, les extrémités d'une même chaîne furent, d'une part, fixées à la caisse par l'intermédiaire d'un petit balancier, et de l'autre s'enroulèrent autour d'un réa fou sur un arbre solidement pris dans un sabot fixé au montant d'extrémité des poutres. La caisse était guidée dans sa descente par deux coulisses formées de cornières embrassant des rails fixées sur la charpente.

La travée à relever, délivrée des parties mauvaises avait 49 mètres de longueur et pesait 160,000 kilogrammes.

L'épure montre que pour faire équilibre à ce poids appliqué au milieu de la travée par un effort à l'autre extrémité, il fallait mettre dans la caisse environ 75 mètres cubes d'eau en sus du poids de la caisse qui était de 8,500 kilogrammes.

La formule qui détermine ce poids est très facile à établir :

Soit E l'effort à développer sur la chaîne, il faut que

$$EL \geq PA \text{ d'où } E \geq \frac{PA}{L}$$

mais il faut tenir compte des éléments constants et de ceux variables suivant la position du pont. On a d'abord le poids propre de la caisse

$Q = 8{,}500$ kilogrammes
puis le poids 2 M des chaînes à droite

qui viennent aussi former contrepoids.

Enfin à l'effort à vaincre viennent s'ajouter le poids C des chaînes à droite et les résistances passives E dues aux frottements divers évaluées à 3,200 kilogrammes.

Le poids de la charge à mettre dans la caisse est donc donné par la formule

$$E \geq \frac{PA}{L} + C + F - Q - 2M$$

Dans les diverses positions étudiées sur l'épure, les valeurs respectives de E étaient

75,239 kilogrammes.
77,122 —
76,990 —
74,938 —

L'effort total moyen sur les chaînes était donc de 75,000 + 8,500 = 83,500 kilogrammes, et celui sur la charpente atteignait 167,000 kilog.

En réalité, on a pompé un peu moins d'eau et le complément de l'effort a été fait par deux petits treuils placés au sommet de la charpente de

manière que le pont eût toujours une tendance à descendre et qu'on pût l'amener vivement si quelque circonstance le rendait nécessaire.

La charpente du côté de l'extrémité tombée avait 34 mètres de hauteur. Elle était formée par quatre étages de poteaux de même longueur reposant sur des pieux battus dans le sol jusqu'au rocher. La longueur de ces pieux variait entre 5 à 7 mètres, ils avaient tous 27 centimètres d'équarrissage.

Ces poteaux et pieux étaient groupés en six files longitudinales dont deux très rapprochées entre lesquelles devait passer l'extrémité des poutres dont on avait enlevé les contreventements et deux autres plus éloignées et inclinées pour donner de l'empâtement à la charpente.

Les pieux et poteaux étaient moisés et contreventés en tous sens.

Les files de pieux rapprochées des poutres ont permis de soutenir le pont aussitôt qu'il fut relevé au moyen de poutrelles transversales appuyées sur les moises longitudinales.

Une charpente analogue, mais moins haute, a dû être construite des deux côtés de la première pile afin de pouvoir soutenir les travées pendant la rotation et ensuite leur réfection.

Aucune fatigue anormale ne s'est produite pendant et après l'opération dans les charpentes.

Le relèvement a commencé le 2 août après la marée du soir. On avait calculé qu'il devait durer deux heures au plus et ce délai n'eût pas été dépassé si l'on n'avait été gêné par des saillies trop grandes de quelques pièces de charpentes. On a donc interrompu le travail à la nuit pour le reprendre le lendemain à la basse mer afin de pouvoir amener la caisse contrepoids jusqu'à toucher le sol.

On s'occupe maintenant de souder la travée tombée à la suivante en dérivant et remplaçant les pièces faussées.

Le lancement définitif de l'ouvrage aura lieu ensuite et l'on compte pour cela se servir de la caisse à contrepoids et faire l'opération en trois fois (le parcours de la caisse n'étant que de 21 mètres et l'espace à franchir atteignant 58 mètres). Il sera possible ainsi de mesurer l'effort à faire pour tirer le pont, et, à ce point de vue, le résultat obtenu sera intéressant à enregistrer, car on ne connaît pas encore d'une manière exacte la force à développer pour ce genre d'opération.

Le cube de bois employé pour l'établissement de ces trois échafaudages est de 500 mètres environ.

Les éprouvettes prises sur les fers près de la brisure ont résisté à un effort de 34 et 36 kilogrammes par millimètre carré. Le fer était de bonne qualité.

Depuis quelques années, Messieurs, à l'art de construire les ponts métalliques semble venir s'ajouter un corollaire important, celui de les relever lorsqu'ils sont tombés. Je souhaite à ceux d'entre nous qui s'occupent de constructions métalliques de n'avoir pas à faire l'emploi du système de relèvement que je viens d'avoir l'honneur de vous décrire.

M. Périssé a écouté attentivement l'exposé très clair qui vient d'être

présenté et il a la conviction que la chute du viaduc de Douarnenez tient à une autre cause que celle qui a été rappelée par M. Durupt. Cette chute n'a pas été amenée par la rupture de l'un des appareils de roulement dont le métal n'a travaillé d'ailleurs qu'à 3 ou 4 kilogrammes. En effet, si cette rupture avait précédé la chute de l'ouvrage, celui-ci serait tombé de côté puisqu'il se serait incliné préalablement sur la pile portant les deux rouleaux. Or, il a été constaté que le tablier métallique est tombé dans l'axe même de l'ouvrage.

M. Périssé pense que la cause de l'accident consiste dans un vice de conformation des poutres de rive. En effet, il a été dit que le tablier, composé de trois travées égales, avait pris une flèche de $0^{m},34$ en allant de la culée à la première pile, tandis que sur le parcours, incomplet cependant, depuis la première pile jusqu'à la seconde, la flèche constatée avait été de $0^{m},48$. Cet accroissement de flèche est une preuve que, dans le passage de la première travée, le métal avait pris, dans quelques-uns de ses points, un allongement permanent, c'est-à-dire qu'il avait travaillé à un coefficient supérieur à sa limite d'élasticité. Voilà la vraie cause de la chute du viaduc.

M. Périssé recherche ensuite en quel point la rupture s'est produite. Ce point est très clairement indiqué par les photographies qui viennent d'être présentées. Elles indiquent, en effet, l'une d'entre elles surtout, que la semelle inférieure de la poutre en treillis s'est rompue en se repliant sur elle-même entre deux croisillons de treillis, de telle sorte que c'est l'âme verticale de la poutre qui a pris une forme cintrée, avec convexité à sa partie haute, pour casser finalement la première au droit des galets, tant sous l'effort vertical exercé par la réaction du galet que par suite du moment fléchissant maximum résultant du porte à faux du tablier. C'est au moment où les parties comprises entre les croisillons passaient sur les galets que le métal a fatigué et a pris une flèche permanente. Il eût fallu que les deux semelles aient été rendues plus solidaires, par l'adjonction, par exemple, de montants verticaux ou par le renforcement des barres inclinées du treillis. Les flèches locales de la semelle inférieure résultent d'ailleurs des explications qui nous ont été données par notre collègue et, s'il voulait bien les compléter en faisant connaître le travail de la poutre sous les efforts fléchissants au moment de l'accident, M. Périssé pourrait mieux se rendre compte.

M. Durupt répond que l'équation d'équilibre de la partie en porte à faux, montre que les membrures des poutres travaillaient à $8^{k},92$ environ au moment de l'accident, mais pour celle inférieure comprimée à l'effort de $8^{k},92$ s'ajoutait celui résultant de la flexion partielle éprouvée par un élément compris entre deux nœuds d'attache successifs de treillis, flexion difficile à déterminer, si l'on considère que les barres elles-mêmes ayant déjà sans doute subi une déformation, la longueur l de cet élément pouvait alors devenir l', c'est-à-dire comprendre l'espace entre trois ou quatre nœuds d'attache. — Il est certain, dans tous les cas, que, pour la mem-

brure inférieure comprimée, le coefficient de 8k,92 était notablement augmenté.

M. Périssé observe que, si à ce coefficient de 9 kilogrammes, on ajoute le travail supplémentaire de la semelle inférieure par suite de sa flexion locale sous l'effort vertical dû à la réaction des galets, on doit arriver à un chiffre tel que certainement le travail du métal à la partie supérieure de la tôle mince de l'âme, a dépassé la limite d'élasticité. Il ne faut pas oublier que la section de la semelle se présente sous la forme d'un simple T, qu'elle donne un moment de résistance relativement faible et qu'elle n'est pas de nature à bien résister à une force fléchissante.

L'âme de la semelle inférieure s'est rompue la première à sa partie supérieure, la rupture de toute la section simple T a suivi immédiatement, et le pont est tombé verticalement comme une masse abandonnée à elle-même; c'est bien ainsi que l'indiquent bien clairement les vues photographiques. L'opinion de M. Périssé est donc que la chute de l'ouvrage doit être attribuée à un vice de conformation des poutres qui ne pouvaient pas résister aux efforts anormaux dus au lancement.

M. Seyrig. Qu'elle était la charge par galet?

M. Durupt. La section des tourillons des galets travaille à 3k,76 par millimètre carré. Il y avait 340,000 kilogr. pour 4 galets.

M. Seyrig. Il y avait donc 85 tonnes par galet; généralement, on les fait travailler à 30 tonnes; je ne m'étonne pas alors qu'il y ait eu rupture.

M. Ivan Flachat. D'après ce qui nous a été dit, on paraissait disposé à attribuer la chute de la poutre à la rupture de l'un des galets. Ne pourrait-on pas expliquer, au contraire, la rupture des galets par le fait de la chute? Le terrain n'étant probablement pas horizontal, il y a peut-être un des côtés qui a touché la terre avant l'autre et fait rompre les galets par contre-coup.

M. Durupt. On n'a pas pu se livrer à cette recherche.

M. Cotard. Je suis de l'avis de M. Périssé. Il est inexact de dire que les tables supérieures et inférieures travaillent au même coefficient; elles travaillent d'une façon différente, les tables inférieures travaillent d'une façon qui leur fait prendre une certaine déformation et leur fait perdre leur résistance. Dans ma carrière d'ingénieur, j'ai assisté, moi aussi, à une chute de pont métallique; cela ne date pas d'aujourd'hui; c'était à l'époque où je construisais le pont de Mâcon; les tables supérieures étaient en fonte; les premières poutres avaient été posées sur les deux piles et étaient maintenues aux deux bouts par des étais. Un coup de vent ayant fait rondir les tables supérieures, il s'est fait une compesante horizontale qui, s'ajoutant à l'effort du vent, a déterminé la rupture de la poutre. Dans le cas dont il s'agit, la flexion due à l'effort des galets s'ajoute aussi à la compesante verticale de l'effort de compression des tables inférieures.

M. Durupt. J'ai dit que le coefficient de travail des tables inférieures

était notablement augmenté par le fait de la flexion partielle d'un élément, mais que, eu égard à l'écrasement ou voilement du plan vertical des poutres, il était difficile de se rendre compte de cette augmentation qui devait être fort élevée.

M. Cotard. Il est dangereux de rouler des travées d'aussi grandes portées avec des croisillons aussi écartés.

M. le Président. Je remercie M. Durupt de sa communication et je crois que nous nous en tiendrons là, la cause de la chute du viaduc me paraît démontrée dans cette discussion.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Haag sur le Métropolitain.

M. Haag. Il est bien tard pour commencer cette discussion.

M. le Président. Il est vrai que nous avons vu, dans les journaux, que le ministre des Travaux publics a signé la concession; mais, cela n'indique pas l'adoption d'un projet plutôt qu'un autre.

M. Haag. On a été très surpris d'apprendre cette détermination; le bruit courait aujourd'hui qu'une convention avait été signée entre le ministre des Travaux publics et M. Brochard. Je ne sais pas jusqu'à quel point la chose est viable; jusqu'à présent, il n'y a pas eu de commission sérieuse qui se soit occupée de l'adoption d'un projet, il n'y a pas eu d'enquête, et les projets aériens, notamment, n'ont jamais été discutés.

M. le Président. Je crois qu'il y a simplement concession, mais aucun projet n'est encore adopté. Nous pouvons donc remettre la discussion au début de la prochaine séance.

M. Costalla a été reçu comme membre sociétaire et M. Raux comme membre associé.

La séance est levée à dix heures trois quarts.

Séance du 17 Octobre 1884.

Présidence de M. Brüll, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 octobre est adopté.

M. le Président fait part du décès de M. Merle d'Aubigné, ingénieur des eaux de la ville de Genève, Merle d'Aubigné a pris une grande part aux travaux considérables qui ont été faits à la perte du Rhône, à Bellegarde, pour le captage d'une chute d'eau importante. Il est mort jeune; il a été enlevé à 36 ans.

M. le Président annonce ensuite que M. Deghilage vient d'être nommé Officier de l'Ordre du Nicham, et M. Bernstein, Chevalier du même Ordre.

M. Seyrig rappelle à la Société qu'il a été question, à plusieurs reprises, dans ses séances, des ascenseurs hydrauliques pour canaux, et qu'il a eu l'occasion de lui signaler les difficultés inhérentes à la construction des corps de presse de ces appareils. Les dimensions exceptionnelles de ces organes et la pression intérieure fort élevée qu'ils doivent subir sont les raisons de cette difficulté. La question a été étudiée à fond à propos de l'ascenseur des Fontinettes, que construisent en ce moment les anciens établissements Cail. L'essai d'un type nouveau ayant été fait aujourd'hui même, il peut être intéressant d'en faire connaître les résultats.

La presse dont il s'agit doit recevoir un piston de 2 mètres de diamètre, et fonctionner sous une pression normale de 25 kilogrammes par centimètre carré. La fonte adoptée pour des dimensions un peu moindres, à Anderton, n'a pas paru ici offrir une sécurité suffisante. Plusieurs modes de construction différents ont été successivement proposés, et déjà M. Seyrig a eu l'occasion de parler des essais faits avec des cylindres en acier coulé de Terre-Noire, dont l'insuccès a été complet. Cette matière, d'excellente qualité dans les épreuves faites sur des barreaux d'essai, a cassé sous une traction de 15 à 16 kilogrammes par millimètre carré, dans l'expérience faite sur une virole de la presse elle-même, et son emploi a été rejeté par l'administration.

Un autre mode de construction fut alors essayé. On construisit un tronçon d'essai de la presse, ayant $2^m,06$ de diamètre intérieur, et constitué par de la tôle d'acier de $0^m,030$ d'épaisseur. Il fut soumis à une pression intérieure croissante; mais à partir d'un certain moment, 40 atmosphères environ,

les rivures et les joints, auxquels toute l'attention voulue avait cependant été accordée, laissaient suinter l'eau sous pression de façon à ne pas permettre de maintenir celle-ci. L'étanchéité d'un grand cylindre de cette nature paraissait donc impossible à obtenir, et l'on renonça encore à son emploi.

On eut alors recours à un mode de construction par cercles sans soudure, superposés les uns aux autres de façon à constituer le cylindre de presse, quelle que fût sa longueur. On employa pour cela des bandages de locomotive ayant $2^m,06$ de diamètre intérieur, $0^m,140$ de largeur et une épaisseur moyenne de $0^m,062$. Ces bandages proviennent du Creusot et sont en acier résistant à 62 kilogrammes environ avant rupture. Ils sont munis au tour de deux feuillures de $0^m,005$ haut et bas, de façon qu'en se superposant ils s'emboîtent de cette quantité. L'étanchéité du corps de presse est obtenu par le moyen d'une chemise générale intérieure en cuivre de $0^m,0025$ d'épaisseur.

C'est une portion de cylindre ainsi constitué, de $1^m,62$ de longueur, qui a été soumise à l'essai. A l'intérieur était placé un tronçon de piston principal de même longueur, et les parties supérieure et inférieure étaient recouvertes de forts tourteaux annulaires en fonte, serrés sur les deux cylindres au moyen de soixante-douze tiges filetées, l'étanchéité étant obtenue au moyen d'anneaux en caoutchouc. L'eau sous pression n'était donc injectée que dans l'espace annulaire entre les deux cylindres.

On commença par élever graduellement la pression jusqu'à 125 kilogrammes par centimètre carré. On mesura à ce moment l'augmentation du développement de la circonférence, et on constata un allongement de $0^m,004$ environ. La pression étant retirée, la longueur primitive fut retrouvée exactement. A deux reprises la même constatation fut faite, puis on continua d'élever la pression. Aucune fuite ni aucune circonstance anormale ne se présenta quand, à 175 kilogrammes, eut lieu la rupture brusque de l'un des tourteaux en fonte servant d'obturateur. Le volume énorme de cette pièce ne permettait pas de croire que ce serait par là que la rupture aurait lieu, mais la pression atteinte est suffisante pour prouver que c'est avec une pleine sécurité que la construction adoptée peut être employée. Elle est de sept fois la pression à employer normalement, et elle correspond à un coefficient de travail du métal de 30 kilogrammes environ par millimètre carré. S'il s'agissait de fer on n'oserait guère espérer une résistance beaucoup supérieure. Avec de l'acier à 65 kilogrammes de résistance il restait encore une marge énorme.

Il convient d'appeler ici l'attention sur le chiffre plusieurs fois constaté et vérifié de l'allongement de la circonférence qui a été de $0^m,004$. Si l'on cherche à en déduire le coefficient d'élasticité, on trouve $E = 39,6 \times 10^9$. L'allongement, parfaitement élastique d'ailleurs, a donc été considérablement moindre que celui que l'on constate régulièrement sur des pièces du même acier, et qui donne toujours à peu de chose près $E = 20 \times 10^9$. Il faut rapprocher ce fait de celui vérifié sur les aciers des premiers cylindres de

Terre-Noire qui, essayés en grand, n'ont donné aucun allongement mesurable de la circonférence, ce qui permet d'émettre un doute sur la manière dont se comportent ces grosses pièces au point de vue de leur extension.

En somme, le succès de l'expérience a été complet. Il faut toutefois regretter que le prix auquel doivent atteindre des organes construits de cette manière soit nécessairement aussi considérable. Sans entrer dans aucune discussion aujourd'hui à ce sujet, on peut se demander pourquoi le mode d'étanchement par une chemise en cuivre ne serait pas appliqué de préférence au cylindre en tôle d'acier rivée, nécessairement bien inférieur comme prix.

M. le Président remercie M. Seyrig d'avoir bien voulu communiquer à la Société le résultat de cette intéressante expérience.

M. le Secrétaire donne lecture d'une lettre de M. Casalonga, relative à la communication faite par M. de Bruignac à la dernière séance, concernant :

1° L'augmentation très notable de résistance résultant du tangage, et pour de faibles inclinaisons de 2 à 3°.

2° La diminution considérable de la résistance à la translation, à mesure qu'augmente le rapport entre la longueur de l'aérostat et le diamètre de son maître-couple.

Je ne m'arrêterai pas, dit M. Casalonga, à la première de ces deux conclusions qui ne figure pas au compte rendu analytique; mais je me permettrai d'appeler l'attention sur celle d'après laquelle il suffirait simplement de renverser tête-bêche, l'aérostat de Chalais-Meudon, pour en doubler presque la vitesse.

Un tel résultat serait à la fois si simple à obtenir, et si heureux dans ses conséquences, que chacun doit en désirer vivement la confirmation. C'est probablement en raison de ces deux considérations, que l'esprit éprouve un certain doute, surtout lorsque, sortant des conditions de symétrie, et considérant un aérostat à grosse proue, comme celui de MM. Renard et Krebs; on affirme que la vitesse sera presque doublée, en faisant de la poupe la proue, et inversement.

Le doute qui s'empare de l'esprit, provient aussi, sans doute, de ce que, certains aéronautes pensent trouver dans une grosse proue, et une poupe effilées, le moyen de régulariser l'écoulement des veines fluides, écartées par la proue; d'en utiliser mieux les réactions, dans le sens propulsif; et de donner à l'aérostat une plus grande stabilité de marche.

Quoi qu'il en soit, les résultats annoncés par un ingénieur aussi compétent sur ces questions que l'est M. de Bruignac, paraîtront, sans doute, à beaucoup, comme à moi, à la fois si importants et si surprenants, que je crois servir l'intérêt même de la propre cause défendue si brillamment par notre collègue, en y appelant de nouveau son attention et celle des membres de la Société.

M. Canovetti a eu un peu les mêmes idées que M. Casalonga et, surpris des résultats extraordinaires que donnerait l'augmentation du rapport des axes, en a étudié l'influence au point de vue de la légèreté relative.

Pour un rapport donné entre les axes, la résistance au moment doit être de la forme $R = K V^2 S$ et le travail nécessaire $T = K V^3 S$.

S, Section du maître-couple;

K, Résistance du mètre carré de la section à 1 mètre de vitesse. On en déduit les valeurs suivantes pour K.

Résistances opposées par l'air.

AÉROSTATS.	RAPPORT des axes.	DIAMETRE du maître-couple.	SECTION.	VITESSE mesurée.	TRAVAIL mesuré.	Coefficient K calculé.	Résistance totale calculée.	Résistance totale mesurée.	FORCE ascensionnelle par m³.
		m.	m²	m.	kg.	k.	k.	k.	k.
Tissandier. . . 1883	3	9.20	66.5	3.00	30	0.0165	10.00	»	1.180
— 1884	3	9.20	66.5	4.00	50	0.0117	12.50	»	1.180
Renard et Krebs 1884	3	8.40	54.41	5 50	125	0.0136	22.800	22.800	1.073

La dernière valeur de K est la dixième partie de l'effort d'un vent de 1 mètre sur une surface plane de 1 mètre. Suivant les chiffres de M. de Bruignac, la résistance de la sphère aurait été quatre fois supérieure.

Suivant que l'on considère l'aérostat engendré par un triangle ou par un segment circulaire, on a les résultats suivants :

RAPPORT des axes.	TRIANGLE S	TRIANGLE V	TRIANGLE $\frac{S}{V}$	SEGMENT CIRCULAIRE S	SEGMENT CIRCULAIRE V	SEGMENT CIRCULAIRE $\frac{S}{V}$
1	$2.52 \frac{\pi D^2}{4}$	$\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{8.46}{D}$	$4. \frac{\pi D^2}{4}$	$\frac{4}{6} \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{6}{D}$
3	$6.324 \frac{\pi D^2}{4}$	$1 . \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{6.324}{D}$	$8.58 \frac{\pi D^2}{4}$	$1.566 \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{5.555}{D}$
4	$8.329 \frac{\pi D^2}{4}$	$\frac{4}{3} \cdot \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{6.247}{D}$	$11.244 \frac{\pi D^2}{4}$	$2.1 \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{5.354}{D}$
6	$12.164 \frac{\pi D^2}{4}$	$2 . \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{6.082}{D}$	$16.293 \frac{\pi D^2}{4}$	$3. \frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{5.153}{D}$
∞	∞	∞	$\frac{4}{D}$	∞	∞	$\frac{4}{D}$

L'emploi de l'arc comme ligne génératrice de l'aérostat est donc plus avantageux, et cet avantage croît avec l'allongement *à égalité de diamètre*. Il n'en serait pas de même *à égalité de volume*, mais au point de vue de la résistance au mouvement, la forme conique doit être favorable. Pour tenir compte de tous les autres éléments qui modifient le poids disponible pour un volume donné, il a fallu que M. Canovetti entreprenne l'étude d'un aérostat complet et l'emploi du métal, pour de grandes dimensions, lui a paru seul possible.

L'enveloppe en cuivre de 1 demi-millimètre d'épaisseur pèserait environ $4^k,50$ par mètre carré. Pour rester dans les conditions qui ont servi à déterminer K, il a considéré un aérostat au rapport 3. Pour un diamètre de 42 mètres, l'enveloppe pèserait $53^k,500$ et la force ascensionnelle totale serait le double de poids, à raison de $1^k,180$ par mètre cube.

Cette force ascensionnelle donnerait au gaz une pression mesurée par $2^m/_m,67$ d'eau et une tension à l'enveloppe de $1^k,12$ par mètre carré dans la grande section. Une différence de pression de $0^m,01$ de mercure équivaudrait à une pression de 135 kilogrammes par mètre carré et à un effort de $5^k,67$ dans la grande section. Elle peut être réalisée par un vent violent ou par une élévation de 190 mètres ou une augmentation de température de $3^o,6$ si l'aérostat était entièrement gonflé. C'est à cette pression que seraient réglées les soupapes.

L'enveloppe éprouve en outre les fatigues suivantes :

La résistance à la translation à la vitesse de 10 mètres donne une augtation de pression de $1^k,36$ par mètre carré ou 1 pour 100 de la pression maxima; elle est donc négligeable. La partie antérieure de l'aérostat, plus lourde que l'air jusqu'au parallèle de $15^m,20$ de diamètre et chargée des brancards sur 14 mètres de longueur pèse sur l'enveloppe. La fatigue par millimètre carré de la section de ce parallèle atteint $0^k,27$, mais cette section est moins fatiguée que celle du milieu, par l'effet de la pression intérieure. Les attaches de la nacelle s'arrêtent à cette partie. L'enveloppe ne subit donc en aucun point une fatigue dépassant $5^k,67$.

Le bombement qu'elle subit entre les mailles du filet, espacées de 1 mètre, diminue avec la tension du métal; il est donc maximum aux extrémités et, sous la plus faible pression, il peut atteindre $0^m,024$.

En attachant la nacelle à une distance de l'axe égale à un diamètre, l'effort dû à la composante horizontale des brins d'attache est inférieure à celui dû à la pression intérieure minima. L'enveloppe n'aura pas tendance à être déformée en aucun point.

L'étude détaillée du filet, composé de mailles de même métal de $0^m,10$ de large, montre qu'il travaille à une fatigue égale à celle de l'enveloppe. Il est attaché dans la section équatoriale à des brancards formés par une cornière qui, normalement, n'est soumise à aucun effort. Ces brancards reçoivent les attaches de la nacelle en fil d'acier de $0^m,007$ de diamètre, travaillant à moins de 8 kilog. par millimètre carré. La nacelle, de 10 mètres de longueur sur 4 mètres de large, est formée par des panneaux métal-

liques à croix de Saint-André de $2^m \times 2^m$. Les poids calculés sont les suivants :

Enveloppe	55,100^k	Force ascensionnelle totale. . . 106,900^k.
Filet-housse	8,820	
Brancards	2,835	
Attaches de la nacelle	3,500	
Nacelle	2,520	
Agrès	1,925	
Voyageurs	700	
Moteur	31,500	

Calcul des résistances. — Pour un rapport des axes égal à 3, K a la valeur 0^k,0136 ; pour un rapport égal à 6. M. Canovetti suppose d'abord que K reste le même et, en deuxième lieu, que K ait une valeur 3,6 moindre d'après les chiffres de M. de Bruignac.

Diamètre de l'aérostat.	Rapport des axes.	Valeur du coefficient K.	Vitesse supposée.	Section.	Résistance par m² de section.	Résistance totale.	Travail en kilogrammètres.	Travail en chevaux.	Travail avec rendement 50 °/o.	Poids du moteur total.	Poids du moteur par cheval environ.
m.		k.			k.	k.				k.	k.
42	3	0,0136	10	1385.5	1.36	1884	18840	251	500	31500	63
42	6	0,0136	10	1385.5	1.36	1884	18840	251	500	64000	128
42	6	0,00377	10	1385.5	0.377	523.4	5234	70	140	64000	457
42	6	0,00377	15	1385.5	0.85	1178	1767	236	472	64000	135

Le poids relatif à l'allongement 6 a été calculé en passant de l'allongement 3 à l'allongement 6 par les rapports donnés dans le premier tableau en répétant tous les calculs.

L'examen des chiffres de la dernière colonne montre l'avantage de l'allongement au point de vue du poids disponible, qui est plus que double en passant du coefficient 3 à 6, et les résultats extraordinaires que l'on pourrait atteindre si la résistance diminuait, suivant les chiffres de M. de Bruignac.

Le poids disponible par cheval et par heure, déduction faite du poids fixe, ne permettrait pas une longue navigation avec un moteur à vapeur ou électrique.

Un moteur à gaz qui consommerait l'hydrogène de l'aérostat dans les conditions normales d'un moteur à gaz de houille demanderait, en tenant compte des puissances calorifiques et des densités, 1^m,66 de gaz, ce qui ferait perdre 2 kilog. de force ascensionnelle environ par cheval et par heure.

Pour ne pas avoir à jeter du lest, cette perte serait compensée par l'évaporation d'ailleurs indispensable de 2 kilog. d'eau à une pression suffisante pour leur utilisation. Cette évaporation reprendrait en calories 41 pour 100 de la chaleur totale dégagée.

Mais, si l'on pouvait utiliser sans transformation de mouvement la pression des gaz de la combustion à engendrer la colonne d'air, réalisée à grande perte par l'hélice, on pourrait diminuer et même supprimer l'eau de refroidissement. Dans ce cas le gaz serait fourni en partie par un mélange d'air et de gazoline qui donnerait 1 cheval par $0^k,350$ de liquide vaporisé dans les conditions actuelles des moteurs à gaz.

La suppression d'une force ascensionnelle égale équivaudrait, en employant le gaz hydrogène en mélange avec l'autre, à une production de $0^{ch},175$ environ.

La production d'un *cheval-heure* ne reviendrait donc qu'à une perte de force ascensionnelle et de lest de $0^k,300$ environ, chiffre infiniment inférieur à ceux des autres moteurs.

M. Cotard exprime un regret à l'occasion des communications qui ont été faites à la fin de la dernière séance et au commencement de celle-ci, au sujet de cette question très intéressante et très palpitante aujourd'hui, de la direction des aérostats. C'est que, dans la dernière séance, la communication relative à cette grave question ait été faite trop tardivement pour donner lieu à la moindre explication; et que, aujourd'hui, nous soyons encore pressés par le temps, et ne puissions nous consacrer à l'examen de cette question; M. Cotard dit qu'avec la meilleure volonté possible, il reste aussi ignorant qu'avant la dernière séance. Ce sujet ne rentre peut-être pas dans le cadre de nos études et de nos réunions; mais, dans une question aussi palpitante il serait intéressant que ceux qui ont passé leur vie dans ces études, voulussent bien apporter ici leurs lumières.

M. de Bruignac, en ce qui le concerne, reconnaît la justesse de cette remarque; cela est résulté des circonstances. D'une part, l'actualité du sujet ne permettait pas de l'ajourner; d'autre part, l'ordre du jour déjà arrêté ne pouvait accorder que peu de temps; il était donc impossible de faire plus que d'énoncer des faits et des résultats. Mais alors, un complément d'information est nécessaire; il existe, c'est la note même dans laquelle M. de Bruignac puisait ce qu'il a dit; elle va être publiée, et contient tous les éléments des calculs qui en permettent le contrôle. M. de Bruignac se met avec grand plaisir à la disposition de la Société pour toute discussion ultérieure.

M. le Président engage ceux qui auraient des éléments à apporter sur cette question à le faire, et, lorsqu'il y aura un nombre suffisant de communications et de documents, la discussion de la communication de M. de Bruignac pourra être mise à l'ordre du jour. On s'est contenté aujourd'hui de donner connaissance de la correspondance reçue, à la suite de cette communication.

M. le Président. En ouvrant la discussion sur la communication de M. Haag, relative au chemin de fer métropolitain dans Paris, dit que l'assemblée regrettera l'absence de notre estimable Président, qu'une indisposition empêche de diriger les débats. M. Martin a exprimé dans une lettre tous ses regrets de ne pouvoir assister à la séance.

M. Hauet. Quand M. Haag vint nous parler de son projet, j'avais déjà eu entre les mains une grande quantité d'études imparfaites ayant pour titre peu justifié : « Projet de Métropolitain de Paris. » Les dossiers consistaient simplement en un plan de Paris à petite échelle, sillonnée de lignes rouges tracées un peu à la diable en tous sens, avec profils des plus sommaires et des estimations si fantaisistes que la critique se voyait désarmée. J'excepte les projets de notre confrère Chrétien et de M. l'architecte Heuzé, qui représentent une somme de travail sérieux et des idées neuves.

Tous ces prétendus projets étaient appuyés d'arguments de mince valeur; il y avait toujours la fameuse nécessité du désencombrement des rues, idée fausse mise en avant uniquement pour créer un courant d'opinion. L'idéal ne devrait-il pas être, au contraire, d'atteindre sur tous les points de Paris le maximum de circulation intense des grands boulevards; l'encombrement d'une rue étant toujours l'indice de la prospérité du quartier.

J'étais donc, un peu de parti pris, je l'avoue, disposé à battre en brèche le projet de M. Haag. Désireux de procéder courtoisement à une contradiction raisonnée, je priai M. Haag de vouloir bien mettre à ma disposition les éléments nécessaires et ses publications antérieures sur le sujet, ce qu'il fit avec une bonne grâce que je me plais à reconnaître. Or, il arriva qu'en voulant donner du corps aux arguments que je tenais en réserve, je m'aperçus que ces arguments ne valaient rien, qu'ils étaient vides de raisons probantes, et même qu'ils tournaient contre la démonstration que je voulais entreprendre. Je devins de la sorte partisan d'un projet que j'étais bien décidé à combattre. Dans cette nouvelle situation d'esprit, il semble que je doive n'avoir qu'un parti à prendre : me taire. Mais, je suis un nouveau converti; j'ai toute la fervente ardeur des néophytes et j'ai l'ambition de porter la conviction qui m'anime chez les adversaires du projet et de communiquer mon enthousiasme aux indifférents.

Je vais donc, si vous voulez bien, examiner le projet de M. Haag sous ses différents aspects, émettre quelques idées qui me sont toutes personnelles et, comme la critique ne doit jamais perdre ses droits, signaler les points que je crois faibles et les détails d'exécution que je trouve mauvais.

Il pourra paraître à quelques-uns que la discussion n'a plus aujourd'hui qu'un intérêt académique; on a lu en effet dans tous les journaux, ces jours passés, une note de forme identique annonçant d'une façon qui n'admettait pas de réplique, que le chemin de fer métropolitain souterrain était concédé. Mais, ce que disent les journaux n'est pas toujours d'une exactitude absolue, et il arrive aussi parfois que des nouvelles vraies quand on les publie,

ne le sont plus quelque temps après. Ainsi il pourrait bien arriver à la concession du chemin de fer souterrain. Je m'abstiendrai, dans tous les cas, de dire du projet du chemin souterrain, qui serait concédé, tout le mal que j'en pense; je me contenterai de ce qui sera strictement nécessaire à mon argumentation.

Que veut faire M. Haag? Un chemin de fer dans Paris devant faciliter et accroître la circulation, mais ce chemin de fer n'est pas l'objet principal de l'opération à entreprendre, il n'en est à vrai dire qu'un accessoire. M. Haag veut exproprier, de la gare Saint-Lazare à la gare de Lyon en traversant le boulevard Poissonnière, une zone de maisons dans les quartiers les plus anciennement bâtis et suivant une direction donnée par un profil bien étudié, de façon à pouvoir édifier une voie nouvelle de 5 kilomètres et demi de longueur, de 40 mètres de largeur avec courbes et contre-courbes, et, au milieu de cette large voie, planter un viaduc continu d'architecture et de matériaux variés, sur lequel il posera quatre voies, deux pour le service local et de banlieue et deux pour celui des grandes lignes, de façon à avoir quatre moyens de circulation entre ces deux extrémités de Paris — un chemin de fer, un passage couvert pour piétons sous le viaduc et deux voies carrossables à droite et à gauche du viaduc. Il veut ensuite raccorder à cette ligne principale les autres gares, la Poste et les Halles.

Je dis que l'idée de M. Haag, si grandiose qu'elle paraisse, est réalisable, qu'elle est la seule pratique et que, dans les circonstances présentes, il en résulte toutes sortes de conséquences heureuses qu'on devrait saisir avec grand empressement.

Au point de vue technique, le projet se présente avec une grande simplicité d'exécution. On opère sur un terrain connu : pour les expropriations d'abord et pour l'exécution ensuite, puisqu'on édifie sur une surface déblayée à ciel ouvert sans craindre, comme avec un souterrain, les indemnités accessoires de dépréciation, les ébranlements de maisons, les interruptions de circulation, les éboulements, les *vibrations* à distance par le passage des trains, comme cela se produit à Londres, ce qui donne lieu à des procès en indemnité, longtemps après la mise en exploitation.

Avec cette circulation à 10 mètres au-dessus du sol des rues, on donne aux voyageurs l'air à pleins poumons, les jouissances de la vue et, au moment où on s'inquiète de mettre tout en œuvre pour développer chez nous le goût des arts décoratifs, qui semble marquer un temps d'arrêt, je ne sais rien qui soit de nature à surexciter l'imagination pour la création de belles choses, comme la circulation sur une voie telle que celle projetée, avec des échappées sur toutes les grandes artères, des effets d'ombres et de lumières que les perspectives courbes peuvent seules produire, avec des changements à vue à chaque inflexion du tracé comme un décor qui se déroule, au lieu de cette banale et ennuyeuse perspective droite en V renversé que nous avons dans les grandes rues, comme l'interminable rue Lafayette ou les fastidieuses arcades de la rue de Rivoli.

Je m'étends, un peu trop peut-être au gré de certains, sur cette face pure-

ment artistique de la question, mais c'est qu'à Paris nous sommes tous un peu artistes ; nous aimons notre Paris, et aucun de nous ne voudrait le voir enlaidir.

Le chemin de fer nouveau ne serait que le prolongement du chemin de fer de l'Ouest jusqu'à la gare de Lyon et du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée jusqu'à la gare Saint-Lazare. Point ne serait besoin pour son exploitation d'avoir recours à une commission spéciale composée des sommités de l'industrie des chemins de fer, pour être fixé sur le mode à suivre. Les agents du mouvement de ces compagnies n'auraient que quelques traits à ajouter ou à prolonger sur leur graphique de la marche des trains.

La voie nouvelle serait la voie parisienne par excellence; elle serait le plus vaste champ qui ait jamais été offert aux ingénieurs et aux architectes de tous les temps. Ce serait à eux de se surpasser. A eux de réunir dans cette voie, qui serait la grande rue de la capitale du monde, tout ce que le progrès moderne donne et surtout nous promet depuis plusieurs années : modes d'éclairage divers perfectionnés, gaz, électricité, ascenseurs, monte-charges, conduites d'eau spéciales donnant, non l'eau contaminée de la Seine, mais une eau pure qu'on irait chercher au loin, égout pour le transport des ordures ménagères, soit par wagonnets, soit par tubes pneumatiques, conduisant les détritus jusqu'à la gare de l'Arsenal dans des bateaux transporteurs qui les mèneraient au loin dans la campagne et débarrasseraient la rue des désagréables odeurs du matin; distribution d'air chaud en hiver dans les appartements et d'air froid en été.

J'arrive au côté épineux de la question. Quel sera le montant de la dépense ou, pour être plus exact, quel sera le capital nécessaire pour faire l'opération et comment se le procurera-t-on? M. Haag dit, je crois, 2 ou 300 millions, je mets, moi, un demi-milliard et le chiffre n'a rien qui m'effraye. Si, rompant avec la routine et formant un syndicat composé dans des proportions à déterminer, de l'État, de la ville de Paris et d'une Société privée, on fait appel à l'épargne publique, on peut être certain qu'elle répondra avec empressement. Lorsqu'on veut séparer les deux Amériques par un canal qui, cependant, est une œuvre ne profitant pas à la France plus qu'à toutes les autres nations, c'est l'épargne française presque exclusivement qui fournit l'argent. Actionnaires et obligataires n'ont pourtant d'autre gage que l'étoile d'un homme heureux.

Le Revenu. — M. Haag a dit, avec trop de modestie, à mon sens, qu'il n'était pas possible de chiffrer le rendement de l'opération. Je pense le contraire. Sans doute le problème est complexe, il demanderait à résoudre beaucoup de temps, mais on pourrait arriver à une évaluation suffisamment approximative. Le rendement dépend beaucoup de la marche suivie pour l'exécution et c'est à ce sujet que je vais vous faire part de mes idées personnelles.

On parle beaucoup en ce moment de l'exposition universelle qu'on ferait

en 1889. Je n'aborderai pas la discussion au sujet de l'utilité de ce genre d'expositions périodiques, ce qui nous mènerait trop loin, mais le principe étant admis, je ne puis me dispenser de faire cette observation. Pour les deux dernières expositions, qu'a-t-on fait? On a construit, à grand renfort de millions, des monuments superbes en matériaux résistants pouvant lasser l'action destructive des siècles, et puis, après quelques mois d'utilisation, on a démoli avec une rage préméditée ce qui avait coûté tant d'argent et de temps à édifier. A quel mobile économique ou plus simplement à quelle règle du bon sens a-t-on obéi en agissant ainsi ? On serait fort en peine de le dire. C'est du pire vandalisme. Les vandales détruisaient les monuments des autres; nous, nous détruisons les nôtres : c'est barbare. Dans les âges futurs, on ne manquera pas assurément de voir là les signes précurseurs de la décadence.

Il ne faut pas qu'on recommence ce gaspillage d'argent et de forces vives. Qu'on fasse du nouveau. Qu'on installe l'exposition prochaine sur la voie nouvelle, au centre même de Paris. Pour cela, il suffit de couvrir la rue projetée sur une certaine longueur en deçà et au delà du boulevard Poissonnière. Si on construit des façades étrangères, comme en 1878, qu'on les édifie le long de la rue nouvelle, on en tirera un parti immédiat après la clôture de l'exposition comme façades d'établissements privés; et qui sait si on ne sera pas conduit à conserver certaines parties comme exposition permanente ?

Je n'ignore pas qu'on peut me faire des objections sur des points secondaires, mais ce sont des difficultés qu'on peut vaincre par une étude minutieuse.

Indépendamment du résultat considérable qu'on obtiendra d'une dépense d'installation qui restera productive, il y aura, en envisageant la seule question exposition, des avantages inappréciables. Ainsi, pour les chemins de fer : l'exposition universelle consistait en machines locomotives bien peintes, bien luisantes, mais ne marchant pas; en voitures à voyageurs immobiles, en signaux ne fonctionnant pas, en appareils de toutes sortes, avec « défense de toucher. » Au lieu de cette immobilité qui n'apprend rien, même aux initiés, on pourra, sur le viaduc, avoir un véritable concours de chemins de fer auquel viendront prendre part, d'une façon effective, les différents systèmes qui se disputent le privilège de la traction sur le métropolitain.

Nos confrères, M. Mékarski, de l'air comprimé; M. Franck, de la vapeur surchauffée, ont rompu ici même bien des lances en faveur de leurs inventions respectives. En sont-ils beaucoup plus avancés ? Sur le chemin de fer de M. Haag, les tenants financiers des différents systèmes pourront entreprendre pendant plusieurs mois consécutifs la traction des trains et procéder à des expériences décisives qu'il leur serait impossible de faire nulle part ailleurs.

Quantités d'articles, comme le papier peint, le meuble, etc., pourront se produire dans le milieu même où ils doivent être vus pour être bien jugés.

A l'exposition du champ de Mars ou en tout autre point périphérique, il n'y a point ou peu de visiteurs le soir. Au centre de Paris, l'exposition sera brillante et animée jusqu'à minuit; il s'établira des maisons de commerce et d'industrie sérieuses. Au champ de Mars les abords appartiennent sans partage aux restaurateurs et aux limonadiers. C'est peu pour la rénovation industrielle.

Mais il faut, pense-t-on, aux abords d'une exposition universelle, des jardins, des fleurs, des plantes, des promenades, soit; on peut avoir tout cela dans l'avenue nouvelle en procédant de la façon suivante: tout d'abord, on fera place nette sur toute la surface de Saint-Lazare à la gare de Paris-Lyon-Méditerranée; on construira le viaduc sur l'axe, puis, au milieu de la distance, les édifices, maisons et bâtiments divers devant contenir l'exposition, pour devenir ensuite des propriétés privées. On se gardera bien, si on est sage, de construire avec trop de précipitation les maisons de toute l'avenue, de sorte qu'en deçà et au delà de la partie affectée à l'exposition, sur les superficies libres destinées aux constructions ultérieures on établira les jardins et les promenades.

Donc, première source de revenus très directs: édification de bâtisses utilisables dans l'avenir, suppression d'une dépense qu'on ne faisait que pour six mois, — produit des entrées à l'exposition.

Deuxièmement: vente des excédents utilisés pour jardins et promenades pendant l'exposition.

Troisièmement: distribution d'eau, de lumière, de chaud et de froid — on chauffe les appartements l'hiver, pourquoi ne les refroidirait-on pas l'été, — transport des ordures ménagères. Vous avez tous l'habitude des affaires et il me suffit de ces indications sommaires pour faire voir combien de sociétés annexes pourraient venir se greffer sur la société concessionnaire.

Et enfin, ce qui pourrait être convenu dès l'origine, sauf à n'être réalisé qu'à époque déterminée ou même à la liquidation de la Société, l'incorporation, dans le réseau des deux grandes Compagnies intéressées, du chemin de fer qui, quoique coûtant cher et rapportant relativement peu, ne représentera en somme qu'une fraction peu considérable du capital de ces compagnies et n'augmentera pas d'une façon appréciable le montant de la garantie d'intérêt.

La conclusion de tout ceci est facile à déduire. Nous sommes en pleine crise ouvrière et industrielle. L'exécution du projet Haag, avec l'annexe que je propose donnerait une solution de la crise pour Paris que le métropolitain soi-disant concédé ne résout point. En effet, le souterrain exigera des ouvriers terrassiers, mineurs et maçons grossiers; nous n'en avons plus en France et c'est l'Italie qui nous en enverra. L'ouvrier italien en France vit chichement; il dépense le strict nécessaire et envoie chaque quinzaine à sa famille en Italie, ce dont je ne le blâme point, le fruit de ses économies; or, la main-d'œuvre formant une notable partie de la dépense du souterrain, c'est l'Italie qui profiterait du travail créé. Avec le

projet Haag, au contraire, il n'y a que des ouvriers d'art à employer; c'est l'ouvrier parisien, c'est l'ouvrier français aujourd'hui sans ouvrage qui trouve son salaire dans un travail où il peut déployer l'habileté, l'intelligence et le goût qui le caractérisent.

Il existe à Paris, à l'heure présente, des appartements vides dans les maisons neuves que n'habiteraient point les ouvriers italiens, et que seraient heureux de trouver les habitants des maisons à démolir.

Est-il nécessaire de dire que l'exécution de l'œuvre projetée doit nécessairement produire une effervescence créatrice chez tous, alimentant l'initiative parisienne pendant nombre d'années ? Qu'on veuille bien y réfléchir et on sera convaincu, sans que j'aie besoin d'insister davantage, que la somme de un demi-milliard sera vite restituée à la ville de Paris et à ses habitants sous des formes diverses, et qu'elle occasionnera un mouvement d'affaires, un roulement de numéraire de plusieurs milliards, circulant dans un nombre illimité de mains.

J'allais oublier les critiques que je veux adresser au projet. Quel que soit le profit qu'on pense retirer de la location des boutiques sous le viaduc, je crois qu'il faut y renoncer; l'exemple du chemin de fer de Vincennes n'est pas bon à suivre et, quoi qu'on fasse, on ne réunira jamais dans des habitations sous des voûtes de chemin de fer la somme des conditions d'hygiène et de confortable compatible avec la rue telle que je la conçois; le viaduc doit être sur colonnes ou pilastres, élégis autant que possible. On sera toujours à temps, d'ailleurs, de placer dessous des boutiques, tandis qu'on ne pourrait guère les retirer, si on en reconnaissait l'inconvénient.

D'autre part encore, je pense qu'une voie de chemin de fer dans Paris ne doit pas être posée sur ballast, elle doit être établie d'une façon solide et fixe sur la maçonnerie d'asphalte dont nous entretenait récemment M. Malot, de manière à éviter les réparations et la poussière. L'élasticité sera obtenue, d'abord par la nature de la maçonnerie même, et par l'interposition de feutre ou de liège entre le rail et la traverse ou la longrine.

M. Max Lyon ne veut pas critiquer les observations qui viennent d'être présentées et qui l'ont été de façon à n'envisager le Métropolitain que comme un accessoire de grandes opérations de voirie, mais il ne voit pas bien comment on peut comparer entre eux le projet approuvé par l'administration et le projet de M. Haag; ce dernier suppose qu'on percera des quartiers de Paris et que le chemin de fer sera aérien : mais si M. Haag avait étudié le même tracé avec voie souterraine, il aurait vu que la voie souterraine donnerait des résultats économiques meilleurs que ceux du chemin aérien; car, on n'aurait pas besoin, pour le chemin de fer souterrain, de recourir à une surface d'expropriation aussi grande que pour le chemin de fer aérien, et il n'est pas à croire que la partie qu'on pourrait louer sous des arcades, dans le chemin de fer aérien, puisse correspondre au bénéfice que donnerait la partie d'immeubles qui couvriraient cette surface à exproprier en moins si l'on exécutait en souterrain le tracé de M. Haag, il n'y a pas de comparaison possible entre le projet de métro-

politain qui traverse les grandes voies de Paris, c'est-à-dire un projet où il n'y aurait peut-être pas par les boulevards une demi-douzaine d'expropriations sur toute la longueur de Paris, depuis Neuilly jusqu'à Vincennes, et celui de M. Haag.

Si on voulait établir une comparaison entre le chemin de fer souterrain et le chemin de fer aérien, sans recourir à des grandes opérations de voirie, il est évident qu'on ne pourrait faire que ce qui a été fait à New-York, car il serait matériellement impossible de faire un grand viaduc en maçonnerie à travers les voies actuelles de Paris. D'après les renseignements fournis par des personnes compétentes, le chemin de fer aérien a été *surtout* construit à New-York, parce que la voie aérienne y était plus économique que la voie souterraine, le sol y étant très mauvais, comme on a pu le constater par les fondations des colonnes, et on était partout en contre-bas des hautes mers, c'est-à-dire exposé aux infiltrations. A Berlin, c'est la même chose : on est constamment dans de mauvais terrains, et c'est pour cela qu'on a préféré le chemin de fer aérien; à Paris on se rend facilement maître des filets d'eau qui peuvent se présenter, et qui ne s'étendent pas sous forme de nappes; quoiqu'on ait trouvé de l'eau sous l'Opéra, il n'y en avait pas sous les derniers immeubles construits dans la rue Aubert.

A Paris, si on voulait étudier un projet comparable au chemin de fer souterrain, il faudrait s'arrêter au viaduc métallique, comme à New-York, et on en verrait immédiatement les désavantages et presque l'impossibilité. On a dit l'année dernière, à la Société des Ingénieurs civils que, à New-York, les immeubles voisins du Métropolitain n'étaient pas dépréciés, qu'ils ne présentaient aucun inconvénient pour les propriétés voisines : cela n'est pas entièrement exact, et il est absolument prouvé que le rapport des immeubles a diminué considérablement le long du chemin de fer aérien. En règle générale et, dans les quartiers autres que les grandes voies, les propriétaires ont retiré de leurs immeubles des revenus moins considérables qu'auparavant. Les riches Américains fuient le séjour de la ville de New-York depuis que le Métropolitain aérien y a été établi, ou, s'ils sont obligés d'y demeurer, s'éloignent de plus en plus des voies et quartiers traversés par le chemin de fer.

Pour le chemin de fer souterrain, on a émis la crainte qu'il y ait beaucoup de vibrations; or, à Londres, il n'y a qu'un seul endroit où ces dernières années une fissure se soit produite : c'est à Westminster palace Hotel, il y a environ deux ans; presque partout on ne s'aperçoit même pas de la circulation des trains; de Blackfriars-Bridge jusqu'à Charing-Cross, où le quai se trouve à côté du chemin de fer, on n'entend pas les trains circuler, ce que tout le monde peut vérifier facilement. M. Max Lyon n'a pas appris que les habitants se soient plaints, dans les douze dernières années, de la circulation des trains; tandis qu'à New-York un grand nombre de procès sont encore engagés aujourd'hui contre les deux compagnies de

chemins de fer aériens, qui ont déjà dû payer des indemnités considérables.

Au point de vue de l'art décoratif, qui fait de Paris une des premières villes du monde, M. Lyon ne croit pas qu'un viaduc métallique soit possible dans les rues de Paris, parce qu'il nuirait beaucoup trop à l'aspect artistique de la ville. Toute construction en fer avec maçonnerie à l'arrière plan offre quelque chose de choquant. M. Max Lyon assure qu'il en serait de même pour les immeubles des rues de Paris, dans lesquelles passerait un Métropolitain aérien en fer. Le projet de M. Haag ne peut donc pas se comparer au projet actuellement approuvé. On ne pourrait que lui comparer un projet souterrain suivant le tracé de M. Haag, si l'on pouvait admettre un instant que son projet puisse être pris en considération au point de vue économique et financier.

M. Haag a cité le Métropolitain de Londres, en disant qu'il « n'est arrivé à rapporter 2 1/2 pour 100 qu'au bout de vingt années d'existence. » Or, comme pour la plupart des compagnies de chemins de fer, on a créé, pour les deux compagnies du Métropolitain de Londres, un capital actions et obligations; il y a eu des actions privilégiées et d'autres non privilégiées. Ces compagnies ont toujours payé les intérêts de leurs titres privilégiés, représentant une somme plus grande que le capital actions. La compagnie du Métropolitain proprement dit a payé 5 pour 100 depuis de longues années; c'est elle qui a le capital le plus important : 10,800,000 livres sterling. La compagnie du Métropolitain district, celle qui va dans la Cité par le bord de la Tamise, a toujours fait face au service de ses obligations, mais elle n'a pas donné aux actionnaires de dividende rémunérateur; ce n'est que depuis six années qu'elle peut commencer à distribuer un dividende. Il n'est donc pas exact de dire que le Métropolitain de Londres ne donne que 2 1/2 pour 100 du capital engagé.

M. Haag dit ailleurs que les travaux entre Aldgate et Mansion-House coûteront plus de 50 millions par kilomètre. D'après les renseignements puisés à des sources dignes de foi, cette somme représenterait la dépense totale sur 2 kilomètres, ce ne sont pas les travaux proprement dits qui coûteront ce prix-là. Ces travaux ont lieu dans un endroit où les terrains coûtent jusqu'à 15 et 20,000 francs le mètre carré, et on a dû faire des expropriations considérables qui ont coûté fort cher. Les travaux auraient coûté à peine 5 millions de francs par kilomètre.

Si l'on veut comparer l'exécution des différents projets, il faudrait limiter la discussion à des questions réellement comparables entre elles, et voir quel serait le projet le plus économique et répondant le mieux aux besoins et aux goûts d'une capitale comme Paris.

M. Max Lyon croit que le souterrain sous les grandes voies, si l'on ne veut pas faire de grandes opérations de voirie, est ce qu'il y a de mieux et ne voit pas quels avantages peut procurer le viaduc; si, au contraire, l'on veut faire une très grande opération de voirie, ce qui ne serait ni sage, ni prudent dans l'état actuel des finances de la ville et de l'État, un projet en

souterrain, suivant par exemple le tracé de M. Haag, serait encore meilleur qu'un projet en viaduc, à cause de la surface bien moins grande à exproprier, et de la plus grande valeur qu'atteindront les immeubles d'un nouveau boulevard, s'ils ne sont pas dépréciés par un chemin de fer aérien.

M. Sévérac pense que si le Métropolitain doit coûter 250 millions, il n'y aurait qu'à percer une voie de 40 mètres de largeur : avec cela, il n'y a pas besoin de chemin de fer, et cette rue suffira pour désencombrer Paris; et lorsque, au bout de vingt ans, de nouveaux encombrements se produiront, il suffira d'ouvrir une voie de largeur pareille à celle-là, sans faire de chemin de fer. Dans une rue de 40 mètres de largeur, dix voitures peuvent passer de front, la circulation est rendue très facile et il n'y a pas besoin de chemin de fer.

M. le Président prie M. Hersent de vouloir bien donner son sentiment sur cette importante question.

M. Hersent répond que chacun doit avoir une opinion sur le chemin Métropolitain. Il est évident qu'il faut un Métropolitain souterrain à Paris, puisqu'on n'en peut pas faire d'autre, et que, pour établir un Métropolitain aérien, il faudrait faire des opérations dont personne ne voudrait. On n'admettrait pas, à Paris, de viaduc traversant les grandes voies et les boulevards; le Métropolitain doit suivre les grandes voies. Quelles seraient ces grandes voies ? Il faudrait, pour le dire, une étude approfondie de la question. M. Hersent ajoute que bien que le Métropolitain doive être souterrain, il y aura cependant des parties qui seront obligatoirement en viaduc : pour aller à la gare de Lyon, par exemple, il faudra bien s'élever suffisamment; à la gare de l'Est, également, il faudra bien s'élever pour raccorder les voies. En résumé, c'est le Métropolitain souterrain qui paraît donner la meilleure solution.

M. Quéruel ne partage pas l'opinion de M. Hersent. Il serait heureux de pouvoir traverser la ville sans apporter de nouvelles perturbations. La traversée en sous-sol présente des difficultés qui, sans avoir été énumérées dans leur entier, ont été suffisamment indiquées pour faire réfléchir avant de prendre un parti. D'un autre côté, on ne voit pas comment cette solution par le tronçon aérien (car on ne peut guère appeler le projet de M. Haag qu'un tronçon de raccordement) pourrait répondre aux besoins de la ville. M. Richard a dit que la ville n'est pas encombrée; tous les jours, cependant, nous voyons des encombrements, et les voitures-omnibus n'avancent qu'avec lenteur.

Le point capital, c'est de desservir la ville dans tous les sens, et, sous ce rapport, il faudra bien certainement, si l'on veut faire un travail durable, non pas envisager seulement le présent, mais surtout songer à l'avenir, et, pour cela, couvrir Paris d'un réseau de voies de petites dimensions, avec des dispositions pouvant donner une circulation facile et rapide : je suis convaincu qu'une installation de ce genre rendrait de grands services au

public et donnerait de fructueux résultats à la compagnie qui l'aurait entreprise.

M. **Lencauchez**, en parlant du chemin de fer aérien de New-York, a considéré ce système comme applicable à Paris. Tout à l'heure on a dit qu'il était gênant pour les immeubles voisins, que ces immeubles avaient subi une dépréciation, que certains quartiers s'étaient un peu dépeuplés; il semble y avoir là quelque exagération, attendu qu'à New-York, on a mis partout des chemins de fer aériens au-dessus des tramways en laissant ceux-ci, et comme les rues sont très larges, cela n'apporte aucune gêne. Mais, lorsqu'il a fallu raccorder les grandes rues de New-York entre elles, il a fallu passer dans quelques petites rues semblables, par exemple, à la rue des Lombards, à Paris; dans ce cas-là, la voie ferrée a complètement couvert la rue, et on n'a plus vu clair au rez-de-chaussée ni aux étages inférieurs. Il y a là un véritable dommage. Mais ce cas particulier ne représente pas plus de 6 pour 100 de l'ensemble du Métropolitain; par conséquent, sur 50 kilomètres, il y a environ 3 kilomètres dans ce cas-là. Il est plus que probable qu'à Paris on ne couvrirait pas la rue des Lombards et qu'on agirait, comme dit M. Haag, par voie d'expropriations : on pourrait faire un chemin de fer sur viaduc, disposé de façon à couvrir des immeubles commodes et élégants, et servant d'habitations, permettant d'en tirer un profit suffisamment rémunérateur pour le capital engagé.

A New-York comme à Paris, on s'est dit : nos voies sont encombrées, la circulation est lente et difficile, les distances à parcourir sont grandes, on perd son temps à attendre l'omnibus ou le tramway, et les courses prennent beaucoup de temps. D'un autre côté, pour le transport des marchandises, on en est réduit aux camions qui encombrent les voies; il y a des arrêts plus ou moins longs à chaque carrefour: il faut désencombrer la surface. Alors, on ne s'est pas occupé seulement de désencombrer la surface entre deux points déterminés, mais encore entre tous les points où il n'y a pas une grande circulation. Il semble que, dans le projet actuel, partant de Saint-Cloud ou des environs pour venir à Vincennes, on va faire un chemin de fer à grand service, à lourd matériel : ce n'est pas cela qu'il faut à Paris. Il faut l'omnibus rapide, le tramway à vapeur. C'est ce qu'on a fait à New-York. Pourquoi à Paris prendre le matériel lourd des grandes lignes? A New-York on a fait des machines du poids de 16 tonnes et des voitures légères, de façon à pouvoir enlever rapidement 400 voyageurs, c'est-à-dire à avoir une capacité de transport dix fois plus considérable que celle des tramways de Paris avec une vitesse trois fois plus grande.

M. **Lencauchez** croit qu'avant d'entrer dans la voie des grandes dépenses, il faudrait se demander s'il y a lieu de réunir la gare de l'Ouest avec la gare de Paris-Lyon-Méditerranée par un chemin de fer, ces deux gares étant déjà deux fois reliées par la Ceinture et la Grande-Ceinture; si ce chemin de fer pourra réellement rendre des services proportionnels à la grande dépense que nécessitera sa construction, et si la même somme d'argent, employée d'une autre façon, ne rendrait pas de plus grands

services en donnant satisfaction aux besoins de circulation de toute la ville.

M. Grosselin, à propos du prix de revient probable du chemin de fer souterrain, voit que M. Haag, dans l'estimation qu'il en a faite, s'est fondé sur le chiffre de la dépense du chemin de fer souterrain de Londres; cela ne paraît pas comparable. A Paris, la véritable base des évaluations du prix de revient d'un souterrain se trouve dans les égouts dont la construction a exigé, il est vrai, des dépenses assez considérables, comme les collecteurs du centre, du boulevard de Sébastopol : en y ajoutant les frais de déplacement de certaines conduites de gaz et de quelques égouts qu'il faudra reconstruire, on arrivera à une évaluation plus certaine; par conséquent M. Haag, qui considère comme trop faible le devis de 2 à 4 millions par kilomètre, paraît fonder son appréciation sur une base qui n'est pas la véritable.

M. Chevalier ne trouve pas cette comparaison bien juste : les égouts de Paris ont été faits sur un terrain libre, tandis que le Métropolitain souterrain doit se faire sous les égouts; dans ces conditions, les prix critiqués par M. Haag paraissent l'avoir été avec raison.

M. Grosselin répond qu'il est évident que le Métropolitain souterrain ne sera pas fait sous les égouts, mais à côté; et les égouts qu'on aura été obligé de supprimer seront refaits à côté du chemin de fer; par conséquent, au point de vue du terrain, le Métropolitain se trouve dans les mêmes conditions que les égouts, lorsqu'ils ont été construits.

M. Haag a suivi avec grande attention toute la discussion qui vient d'avoir lieu; mais il craindrait d'abuser de la patience de la Société en reprenant une série d'arguments qu'il a déjà exposés longuement, à plusieurs reprises, et qui ont été encore reproduits dans l'avant-dernière séance. Ces arguments n'ont pas été sérieusement réfutés.

Il remercie M. Hauet des paroles bienveillantes qu'il a bien voulu dire à l'égard de son projet; mais, répondant à sa critique au sujet des boutiques placées sous le viaduc, M. Haag croit qu'elles seront un élément très considérable de revenu et qu'elles rapporteront plus que le chemin de fer lui-même. Un revenu de 5 ou 6 millions n'est pas négligeable.

Quant aux autres observations qu'on a faites, elles s'appliquent plutôt au chemin de fer aérien sur viaduc métallique qu'au projet de M. Haag.

On a critiqué ce projet en disant qu'il fallait comparer au projet souterrain un projet qui, comme le souterrain, n'exige pas d'expropriations. Mais le projet souterrain n'est pas exempt d'expropriations, puisqu'il nécessite le percement de la rue Réaumur qui représente une dépense de 73 millions et demi d'expropriations.

En outre, il n'a pas été, semble-t-il, tenu suffisamment compte, dans les objections, de l'idée fondamentale du projet. On a objecté qu'il nécessitait une percée nouvelle. M. Haag a justement choisi une percée qui s'impose à l'heure qu'il est. Il est évident que, si la rue nouvelle ne devait être créée

que pour faire passer un chemin de fer, ce serait une dépense trop considérable. Mais la ville est obligée de faire chaque jour de grandes opérations de voirie; elle a dépensé 35 millions pour l'avenue de l'Opéra, elle fait constamment des opérations de voirie, quand elles paraissent utiles. On a cherché à combiner une opération de ce genre avec l'établissement du Métropolitain : faire une rue utile, et profiter de cette rue pour y faire passer le Métropolitain : tel est le programme. Les gares de Paris sont réunies en deux groupes : au nord-ouest, la gare Saint-Lazare, la gare du Nord et la gare de l'Est forment un premier groupe; au sud-est, les gares d'Orléans, de Vincennes et de Lyon en forment un second; il est naturel de réunir ensemble ces deux groupes, et cela peut se faire par une rue qui serve en même temps au point de vue de la voirie. Il est incontestable qu'une grande opération de voirie s'impose, à bref délai, aux abords des Halles et de la rue Montmartre. Il y a là entre la rue Montmartre et le boulevard de Sébastopol, un immense îlot qui n'a pas été percé et qui crée un obstacle à la circulation au milieu de Paris, et l'idée fondamentale du projet est de combiner l'exécution de cette opération de voirie très utile, avec la création du Métropolitain; l'opération coûtera cher, il est vrai, mais une société créant le Métropolitain dans ces conditions pourra dire à la ville : nous ne vous demandons pas de subvention; et, si vous voulez percer cette rue, qui vous est incontestablement utile, nous vous payerons la moitié de la dépense pour avoir le droit d'y construire un chemin de fer.

M. Haag fait ressortir la différence entre son projet et le projet souterrain; le premier assure la liaison entre les grandes gares, comme cela a été fait à Berlin. Le chemin de fer aérien proposé amènera donc au centre de Paris directement les voyageurs de tous les grands réseaux et de la banlieue : avec un souterrain, on ne peut pas se raccorder avec les grandes lignes, on est sous terre, il faut recourir à des transbordements, et il en résulte des pertes de temps importantes, lorsqu'il s'agit de petites distances à franchir. Un voyageur arrivant d'Asnières, par exemple, s'il a un trajet de cinq minutes à faire dans Paris, reculera devant ce transbordement. Si, au contraire, le train pénètre dans l'intérieur de Paris et continue sa marche, en venant d'un point quelconque des différents réseaux, il offrira un immense avantage.

Le Métropolitain souterrain rentre donc dans la catégorie des tramways, tandis que le Métropolitain aérien a l'avantage, en reliant entre elles les grandes gares, de faire pénétrer toutes les banlieues directement au cœur de Paris.

M. le Président ne voudrait pas entreprendre de résumer cette discussion; il se borne à rappeler que toutes les propositions, toutes les opinions ont été émises, depuis que la Société s'occupe de l'importante question du Métropolitain : les uns se contenteraient volontiers d'organiser dans Paris un service d'omnibus perfectionné, utile surtout aux habitants de la ville,

dans leurs relations entre eux; d'autres, au contraire, plus ambitieux, veulent relier les grandes gares entre elles et unifier, au centre de Paris, le réseau des chemins de fer français. Ce serait là une œuvre nationale d'une grande importance au point de vue commercial et stratégique. Le chemin de fer peut être construit souterrainement ou à la surface, et le tracé aérien peut lui-même être conduit soit le long des voies où il y a la place suffisante, soit par des voies spéciales, ouvertes en même temps pour y faire passer un chemin de fer et pour améliorer la circulation ordinaire. Toutes ces idées ont été émises. Mais, comme M. Haag l'a dit, il y a un instant, son projet n'a pas été l'objet de critiques détaillées, appuyées sur des arguments sérieux. La Société a été sobre de discussions sur le projet; pour ce motif, M. le Président n'oserait pas dégager le sentiment de l'Assemblée. Il se borne à dire que la Société a reçu de M. Haag un projet considérable, soigneusement étudié, une œuvre qui présente un intérêt important pour le bien général et pour le bien de la ville de Paris en particulier, que ce projet est accompagné d'études et de devis détaillés, et il propose à l'Assemblée d'émettre le vœu que le gouvernement, au moment de prendre une décision sur cette question qui nous tient à cœur, veuille bieu étudier, en même temps que les autres, le projet de M. Haag, et ne rien hâter sans discuter le mérite comparatif des divers projets présentés, ne pas trancher précipitamment, peut-être au détriment des intérêts généraux, une question d'une aussi haute importance.

M. Euchêne a été reçu membre sociétaire.

La séance est levée à dix heures trois quarts.

MÉMOIRE

SUR LA

STADIA TOPOGRAPHIQUE

ET SON APPLICATION

AUX LEVÉS DE PLANS ET AUX ÉTUDES DE CHEMINS DE FER
ROUTES, CANAUX, ETC., ETC.

PAR M. **JEAN MEYER.**

Ingénieur en chef des chemins de fer de la Suisse-Occidentale et Simplon.

I — INTRODUCTION

Historique. — Dans une conférence que j'ai faite à la Société des Ingénieurs civils, le 19 avril 1883, sur les nouvelles études pour le passage du Simplon, j'ai dit, en passant, quelques mots sur la méthode de M. Wild ou de la stadia topographique, que nous avions appliquée au levé de nos plans; cette méthode a paru intéresser plusieurs membres de la Société, qui m'ont demandé des renseignements après la séance. Depuis lors j'ai reçu plusieurs lettres pour me demander des renseignements; c'est ce qui m'a donné l'idée de résumer dans ce travail ce qui concerne cette méthode si utile, si pratique et cependant si peu connue en France.

En effet, en France, pour les études de travaux publics, chemins de fer, routes, canaux, etc., on procède beaucoup encore au moyen de profils en travers levés à la chaîne ou à la latte et au niveau, et au moyen desquels on dresse les plans cotés destinés à l'établissement des projets, ou bien on applique la stadia avec les méthodes dites *tachéométriques*, c'est-à-dire avec l'instrument appelé *tachéomètre*.

Cette méthode a été exposée, pour la première fois, dans l'ouvrage de M. *J. Porro*, ancien officier du génie piémontais, qui en a publié une première édition à Turin, en 1849-1850. La seconde édition[1] de cet ouvrage, de 1858, est seule connue en France.

1. J. Porro, *le Tachéomètre* ou l'art de lever les plans et de faire les nivellements. Un volume in-12 de 311 pages et 5 planches. Paris, V. Dalmont, 1858.

M. Porro s'est servi, pour la première fois, du tachéomètre en 1839, pour les levés des cartes destinées à la défense de la place de Gênes, et le rapport de la commission d'officiers chargés d'examiner ce travail, et dont faisait partie le général Menabrea, s'exprime très élogieusement sur cette méthode. Suivant M. Porro, les méthodes tachéométriques étaient en usage en Italie depuis 1823.

Elles ne furent guère connues en France qu'à la suite de deux rapports, datant de 1852, sur les méthodes proposées par M. Porro : l'un présenté au ministre des travaux publics par MM. de Sénarmon, Mary, Grenet et Lalanne[1] ; et l'autre à l'Académie des sciences par MM. Binet, Faye et Longeteau.

M. Porro s'établit à Paris à cette époque et dirigea un atelier où se fabriquaient les instruments destinés à ces levés.

Après lui, un ingénieur français a beaucoup contribué à répandre ces méthodes, qu'il appliqua surtout aux études de chemins de fer. C'est M. J. Moinot, ancien ingénieur des études au chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée, et du chemin de fer d'Orléans, réseau central.

Son ouvrage a eu trois éditions, dont la première publiée date de 1865[2] ; la troisième de 1877[3].

M. Moinot a appliqué cette méthode aux études de plusieurs chemins de fer en France et à l'étranger, entre autres en Suisse à la ligne de Lausanne à Berne, où il fut chargé de ce travail en 1856-1857, par M. Nœrdling, alors ingénieur en chef de cette ligne. C'est là que j'eus l'occasion de voir et de pratiquer cette méthode et de pouvoir la comparer avec celle de la stadia topographique que j'ai pratiquée plus tard.

Récemment encore, elle a été décrite dans un ouvrage de M. Bonnami, conducteur des ponts et chaussées[4], qui décrit le tachéomètre de M. Porro, construit par MM. Secrétan et Cie, les opticiens bien connus sur le Pont-Neuf, à Paris.

Il n'entre pas dans notre programme de faire ici une description détaillée de la *stadia*, que l'on trouvera au chapitre II ci-après ; rappe-

1. *Annales des ponts et chaussées*, deuxième semestre de 1852.
2. *Levés des plans à la stadia*, notes pratiques pour études des tracés par J. Moinot. Périgueux, Bonnet, 1865. Première édition.
3. *Ibidem*. Troisième édition. Paris, Dunod, 1877. Un volume in-12 de 124 pages et 9 planches.
4. *Manuel de l'opérateur au tachéomètre* par Henri Bonnami. Paris, Gauthier-Villars, 1883. Un volume in-32 de 84 pages.

lons simplement que cette méthode consiste dans l'évaluation de la distance de deux points au moyen de l'angle visuel constant, que l'on établit dans la limite de l'instrument, au moyen d'un appareil micrométrique composé soit de fils horizontaux équidistants, soit de traits gravés sur le verre collecteur de l'oculaire, et qui permettent d'observer sur une mire des divisions proportionnelles aux distances, par l'usage d'un niveau et d'un cercle vertical gradué, on observe l'angle que fait la ligne visée avec l'horizon, et de là on en déduit par un simple calcul trigonométrique, qui se fait au moyen d'une règle logarithmique, construite spécialement pour cet usage, la distance horizontale ou « réduite à l'horizon, » et la différence de hauteur de la station et du point observé.

Dans la méthode *tachéométrique* cet appareil de la *stadia* est appliqué à la lunette d'un espèce de théodolithe muni d'un cercle vertical, d'un cercle horizontal et d'une boussole d'orientation. C'est à l'ensemble de cet instrument que l'on a donné le nom de *tachéomètre*. Tous les résultats observés sont notés sur des carnets spéciaux, qui sont alors rapportés à une échelle quelconque au moyen du rapporteur et au bureau. Je renvoie pour plus ample description de cette méthode aux ouvrages de MM. Porro, Moinot et Bonnami, ci-dessus cités.

La *stadia topographique*, dont la description détaillée aura sa place au chapitre suivant, diffère du tachéomètre en ce sens que, au lieu d'appliquer l'appareil micrométrique de la stadia à la lunette d'un théodolithe, on l'applique à la lunette de l'alidade d'une planchette d'arpenteur. Les points sont observés d'une station, la distance en est réduite à l'horizon, et les hauteurs ont été calculées sur place au moyen d'une règle logarithmique spéciale. Elles sont immédiatement rapportées à l'échelle choisie sur la feuille étendue sur la planchette et les points sont cotés. Quand on a un nombre suffisant de points d'altitude cotés, on trace les courbes de niveau ou courbes équidistantes, en ayant le terrain sous les yeux, on peut dire qu'on les *dessine d'après nature*.

Cette méthode a été indiquée et appliquée pour la première fois par les ingénieurs qui ont procédé sous les ordres du général Dufour au levé de la carte topographique de Genève en 1838-1839 ; puis perfectionnée par M. J. Wild, ingénieur et professeur de topographie et de géodésie à l'École polytechnique de Zurich depuis 1855. M. Wild, qui a pris une grande part à l'établissement de la carte topographique suisse, et a spécialement dirigé celle du canton de Zurich, a, dès 1843 à 1851

appliqué cette méthode au levé de cette carte au 1/25,000. Il l'a décrite dans des conférences faites à la Société technique de Zurich les 8 octobre 1845[1] et 7 mai 1847[2]. Il y indique déjà les deux systèmes de micromètres de la stadia, celui à fils et celui à traits gravés sur verre. Il y décrit aussi la règle logarithmique spéciale qu'il a établie et qui se construisait en cuivre jaune ou en argent neuf. Plus tard, il a publié une table de réduction spéciale pour se servir des règles logarithmiques ordinaires de Gravet-Lenoir ou de Tavernier. Cette méthode a été et est encore appliquée pour tous les levés de la carte topographique fédérale suisse, à l'échelle du 1/25,000 et du 1/50,000, pour laquelle on se sert généralement des instruments construits par M. J. Kern, mécanicien à Aarau, et dont nous donnerons la description au chapitre III. Elle est également appliquée, ainsi que nous avons eu l'occasion de nous en assurer à l'exposition de géographie de Venise en 1881, au levé de la carte topographique en Autriche et en Allemagne. Dans ce dernier pays on se sert des planchettes et alidades, construites dans les ateliers de M. Ed. Sprenger, à Berlin. M. Wild enseigne cette méthode depuis 1855 à l'École polytechnique fédérale de Zurich, et tous les ingénieurs formés à cette école, depuis bientôt trente ans, sont familiarisés avec cette méthode et ont beaucoup contribué à la répandre en Suisse et à l'étranger, soit pour les travaux de la carte topographique et ceux du cadastre, soit surtout pour les levés destinés aux études de chemins de fer, routes, canaux, etc. Toutes les études des nombreuses lignes de chemins de fer construites en Suisse depuis plus de quinze ans, et notamment celle du Gothard ont eu ces levés pour base.

M. J. Stambach, ingénieur et professeur à l'École technique de Winterthour, y enseigne aussi, depuis plus de dix ans, cette méthode. Précédemment il avait pratiqué, pendant plusieurs années, pour des études de routes, chemins de fer et travaux hydrauliques, les diverses méthodes tachymétriques; c'est par expérience qu'il est arrivé à donner la préférence à la stadia topographique. Il est l'auteur d'une brochure explicative[3] qu'il a bien voulu compléter en y ajoutant de

1. *Achte Übersicht der Verhandlungen der technischen Gesellschaft, in Zürich*, 1845. Orell-Füssli et Cie, p. 12.
2. *Idem. Zehnte Übersicht*, etc. *Zürich*, 1847, p. 74.
3. *La Stadia topographique*, exécutée par J. Kern, fabricant d'instruments de mathématique, et de Géodésie, à Aarau (Suisse). *Instruction pour la determination de la distance et de la difference d'altitude d'un objet à un point de station*, par M. le professeur J. Stambach. Une brochure, 16 pages, 1 table de réduction et 1 planche. Aarau, imprimerie J.-J. Christen, 1873.

nombreux développements basés sur sa longue expérience, et que nous donnons dans le chapitre II qui suit.

L'exactitude que l'on peut obtenir par cette méthode est aussi grande que celle que l'on obtient par les tachéomètres ordinaires de Porro, Moinot, Reichenbach, Ertel, Stampfer, etc.; les opérations sont beaucoup plus rapides et le coût des levés moindre.

Il faut surtout relever que le figuré du terrain, c'est-à-dire les courbes équidistantes se faisant sur le terrain même et pour ainsi dire d'après nature, on a plus de garantie d'une représentation fidèle du relief. Nous reviendrons sur ces points après avoir décrit en détail la méthode et ses applications.

Nous pensons rendre un réel service à nos collègues en France, en leur faisant connaître cette méthode.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE LA MÉTHODE DE LA STADIA TOPOGRAPHIQUE ET INSTRUCTION POUR SON APPLICATION.

Par M. Stambach, ingénieur, professeur à l'École technique de Winterthour.

La stadia topographique.

Des divers appareils qui ont été inventés dans le but de l'application du principe de la stadia aux opérations militaires ou topographiques, ceux qui sont basés sur le principe d'un angle visuel constant sont les plus fréquemment appliqués en topographie.

§ 1. *Principe.* — Pour rendre ce principe plus clair, nous ne considérerons d'abord que la vue à l'œil libre au moyen d'une simple alidade A (pl. 83, fig. 1). Cette alidade a une simple ouverture ronde du côté de l'oculaire; du côté de l'objectif elle a une ouverture rectangulaire O dans laquelle sont tendus deux fils parallèles qui, par rapport à l'oculaire, déterminent un champ visuel à angle constant.

Sur une échelle divisée aux distances d_1 d_2 d_3, les fils parallèles limiteront les espaces l_1 l_2 l_3. De la similitude des triangles découlent, sans

autre, les relations $\frac{d_1}{l_1} = \frac{d_2}{l_2} = \frac{d_3}{l_3} =$ une constante C qui est évidemment une fonction de l'angle visuel.

De ces relations il résulte :

$$d = l\,C. \qquad (1)$$

C'est-à-dire : *La distance de l'œil à la latte est égale aux divers segments de la latte lus entre les fils multipliés par une constante qui dépend de l'écartement des fils et de la distance de l'oculaire à l'objectif, c'est-à-dire de dimensions constantes de l'instrument.*

Si l'on supposait à l'œil humain une force visuelle suffisante, ce simple appareil suffirait donc pour pouvoir mesurer des distances.

§ 2. *Modification pour l'emploi d'une lunette.* — Combiné avec une lunette qui multiplie le pouvoir visuel de l'œil humain, on peut réaliser, de la manière la plus simple, une stadia ou appareil à mesurer les distances basé sur ce principe, en y introduisant quelques simples modifications.

Si sur la lentille d'objectif d'une lunette arrivent des rayons parallèles à son axe, ces rayons, après réfraction, se réunissent au foyer situé en arrière de la lentille. Au contraire, si, après la réfraction, des rayons sortent parallèlement à l'axe de la lentille, ils doivent avoir passé par le foyer situé en avant de la lunette.

Représentons-nous une lunette de Kepler (pl. 83, fig. 2), ne se composant que d'une lentille d'objectif et d'une lentille d'oculaire, et, dans le plan de l'image, deux fils parallèles tendus à une distance constante (f) des rayons visuels dirigés parallèlement à l'axe et qui rencontrent les fils limitant une partie de l'espace, suivront le chemin indiqué sur la figure et détermineront le segment L sur une mire divisée et placée perpendiculairement à l'axe de la lunette.

Désignons la distance des fils par f, la distance focale de l'objectif par p, la distance de l'objectif à la mire par a; on a par la similitude des triangles :

$$\frac{a\text{-}p}{L} = \frac{p}{f}$$

Les deux grandeurs p et f, distance focale de l'objectif et écartement des fils sont constantes, d'où :

$$\frac{a\text{-}p}{L} = C$$

et $$a\text{-}p = \text{L. C}$$

$$a = \text{L. C} + p$$

distance de l'objectif à la mire. Généralement ce n'est pas cette distance, mais celle de l'axe vertical de pivotement de l'instrument à la mire que l'on désire connaître.

Considérant que pour la lunette simple de Kepler on peut approximativement admettre que la longueur de la lunette se confond avec la distance focale de l'objectif et que l'axe vertical de pivotement se trouve à peu près au milieu de la longueur de la lunette, la distance de l'axe de pivotement à l'objectif égale $\frac{p}{2}$ d'où il résulte :

$$d = a + \frac{p}{2} = \text{L C} + \frac{3}{2}p \qquad (2)$$

comme distance de l'axe de pivotement ou du centre de l'instrument à la mire.

Cette distance se décompose en deux termes dont l'un est proportionnel au segment de la mire apparaissant entre les deux fils et représente la vue à l'œil libre, et dont l'autre est dépendant de la distance focale de l'objectif et est par conséquent variable pour divers instruments.

§ 3. *Effet pour d'autres lunettes.* — Cette relation simple existe aussi pour des lunettes qui n'ont pas une disposition aussi simple que nous l'avons supposé, soit qu'une lentille collective soit placée devant le plan de l'image, soit que la lunette soit terrestre. Le deuxième terme de l'équation (2) peut très facilement être déterminé par expérience, en déterminant au moyen du soleil la distance focale de l'objectif et en y ajoutant la distance de l'objectif jusqu'à l'axe de pivotement.

Comme le deuxième terme de l'équation est constant pour chaque instrument, nous le désignerons, pour le distinguer de la constante des fils par *K* et l'équation se ramène alors à la forme suivante :

$$d = \text{C. L} + \text{K} \qquad (3)$$

La valeur de la constante K varie suivant la dimension et le mode de construction de l'instrument de $0^m,40$ à $0^m,50$.

Porro, en intercalant d'une manière très ingénieuse une lentille, a obtenu que les segments sur la mire soient directement proportionnels

aux distances de l'axe de l'instrument. Nous verrons qu'on peut parfaitement se passer de cette complication de l'instrument optique.

§ 4. *Appareil micrométrique.* — L'appareil micrométrique à mesurer les distances se compose de deux fils horizontaux et parallèles placés dans le plan du réticule ; au moyen de vis et d'un ressort, ces fils peuvent être amenés à la distance nécessaire ou corrigés.

Sur la figure 3, *a* représente le cadre sur lequel est fixé le fil horizontal du milieu (le fil à niveler), *b* les coins sur lesquels est fixé le fil vertical du réticule. Le cadre est découpé de telle manière que, dans celui-ci, deux coulisses C peuvent se mouvoir dans le sens vertical. Sur ces coulisses sont placés, à la même distance et parallèlement au fil du milieu, les fils de distance ou de la stadia. Au moyen de deux vis de rappel à contre-écrous, agissant sur des joues réunies à la coulisse et qui rencontrent sur le ressort annulaire *g* une résistance suffisante, on peut mouvoir ces coulisses et corriger les fils de la stadia, et les amener à distance égale du fil du milieu. Ces fils de stadia constituent le moyen d'avoir un angle visuel constant et, au moyen des vis de rappel, nous avons la possibilité de le charger à volonté dans certaines limites. On conçoit aisément que, quand l'instrument est corrigé, la distance des fils est invariable. C'est pour cela que le ressort y doit presser avec une certaine force contre les joues et les vis dc rappel ne doivent pas avoir le pas usé. Pour protéger les vis de rappel, on les recouvre généralement d'une douille que nous n'avons pas figurée pour ne pas compliquer la figure.

§ 5. *Fils fixes.* — Pour être indépendant de toute modification de la distance des fils et pour avoir la certitude que la constante C de l'équation (3) est absolument invariable, les fils parallèles (fils d'araignée) peuvent être fixés. Comme les fils d'araignée sont sujets à destruction et peuvent se ployer à l'air humide s'ils ne sont pas suffisamment tendus, on est arrivé à l'idée de constituer l'appareil micrométrique d'un verre plat sur lequel on a gravé au diamant des traits et qu'on place dans le plan de l'image. Les expériences qu'a faites M. Stambach, auteur de cette note, avec un appareil micrométrique ainsi constitué, ne l'ont pas particulièrement encouragé à le recommander.

L'intercalation de la plaque de verre, qui absorbe une certaine quantité de lumière, fait que les images perçues par la lunette perdent

de leur netteté. Un autre inconvénient est que la plus fine poussière qui se dépose sur ce verre est grossie par l'oculaire.

Nous donnons donc la préférence aux réticules à fils fixes, soit fils d'araignée, soit fils de cocons très fins.

§ 6. *Ligne de visée inclinée sur l'horizon.* — Nous avons établi au paragraphe 3 la formule de distance :

$$d = C. L + K$$

qui donne la distance sur une mire perpendiculaire à la ligne de visée. Mais une foule de raisons militent en faveur de la position verticale de la mire. C'est pourquoi nous devons approprier la formule générale à ce cas.

Soit figure 4 à déterminer une distance avec l'inclinaison n de la ligne de visée. Supposons que l'on tienne d'abord la mire perpendiculairement à la ligne de visée et qu'il apparaisse un segment a' entre les fils parallèles. Nous avons, en négligeant la petite partie :

$$om = \frac{a' \sin n}{2} \text{ la distance oblique :}$$

$$d' = Ca' + K$$

Pour la position verticale de la mire, ce n'est pas le segment a' que l'on liera entre les deux fils, mais le segment a :

$$a = \frac{a'}{\cos n}$$

Comme la distance horizontale :

$$d = d' \cos n$$

Il en résulte qu'en introduisant successivement les distances a et d, on a :

$$d = Ca \cos^2 n + K \cos n$$

ou $Ca \cos^2 n$ exprime de nouveau la distance du foyer antérieur et $K \cos n$ celle de l'axe de l'instrument au même point.

§ 7. *Formule exacte pour la distance oblique.* — Dans l'exposé qui précède, la petite distance om a été négligée. Un développement plus précis de la formule établira que ceci peut se faire sans inconvénient.

Pour une position verticale de la mire, la visée moyenne et, avec elle, l'angle relatif, est $90 + n$ et $90 - n$.

Les rayons visuels extérieurs, quand l'angle visuel est 2α et la moitié de celui-ci α, donnent pour l'angle intérieur au point d'intersection supérieur $90 - n - \alpha$ et à l'inférieur $90 + n - \alpha$,

d'où l'on déduit, si l'on désigne le segment inférieur par l' et le segment supérieur par l'' :

$$d' : l' = \sin (90 + n - \alpha) : \sin \alpha$$
$$d' : l'' = \sin (90 - n - \alpha) : \sin \alpha$$

et

$$l' = \frac{d' \sin \alpha}{\cos (n - \alpha)}$$

$$l'' = \frac{d' \sin \alpha}{\cos (n + \alpha)}$$

en additionnant :

$$a = l' + l'' = d' \sin \alpha \left(\frac{1}{\cos (n - \alpha)} + \frac{1}{\cos (n + \alpha)}\right)$$

$$a = d' \sin \alpha \left(\frac{\cos (n + \alpha) + \cos (n - \alpha}{\cos (n - \alpha) \cos (n + \alpha)}\right)$$

d'où l'on obtient :

$$a = d' \sin \alpha \; \frac{2 \cos n \cos \alpha}{\cos^2 n \cos^2 \alpha - \sin^2 n \sin^2 \alpha}$$

et comme

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$a = \frac{d' \sin 2\alpha \cos n}{(\cos^2 n \cos 2\alpha - \sin^2 n \sin^2 \alpha}$$

d'où :

$$d' = a \; \frac{(\cos^2 n \cos^2 \alpha - \sin^2 n \sin^2 \alpha)}{\sin 2\alpha \cos n}$$

mais la distance réduite à l'horizon est $d = d' \cos n$; en l'introduisant dans la formule, on a :

$$d = \frac{a}{\sin 2\alpha} (\cos^2 n \cos^2 \alpha - \sin^2 n \sin^2 \alpha) \qquad (5)$$

Dans cette formule, 2α représente, comme nous l'avons dit, l'angle

visuel, dans lequel apparaît, depuis le foyer antérieur, tout le segment de la mire. Comme cet angle est toujours très petit, nous pouvons remplacer le sinus par l'arc.

Supposons $2\,\alpha = 1/100$ et l'angle vertical $n = 30°$, qui peut être considéré comme un extrême, nous arrivons à :

$$\sin \alpha = \frac{1}{200};\ \sin^2 \alpha = \frac{1}{40{,}000}$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha = 1 - \frac{1}{40{,}000}$$

ou $\cos^2 \alpha = 1$, jusqu'à $\frac{1}{40{,}000}$ d'approximation.

En outre : $$\sin n = \frac{1}{2},\ \sin^2 n = \frac{1}{4}$$

Si l'on introduit ces valeurs dans la formule 5, on a :

$$d = \frac{a}{0{,}01}\left(\cos^2 n\,\frac{39{,}999}{40{,}000} - \frac{1}{4}\,\frac{1}{40{,}000}\right).$$

Nous voyons de suite que le deuxième facteur de la première partie sous la parenthèse peut être admis égal à l'unité et que le second membre peut être négligé sans difficulté, comme infiniment petit au point de vue de la pratique. On a donc, avec une exactitude parfaitement suffisante :

$$d = 100\,a\cos^2 n$$

Or, le chiffre 100 ne signifie pas autre chose que la constante C de notre appareil micrométrique, la distance étant comptée depuis le foyer de l'objectif.

Nous avons à démontrer que la distance totale, depuis le milieu de l'instrument jusqu'à la mire, est déterminée avec une exactitude suffisante par la formule 4.

$$d = C\,a\,\mathrm{Cos}^2 n + K\cos n$$

Si les fils peuvent être corrigés, on donnera toujours à la constante $C = \frac{1}{\sin 2\,\alpha}$, pour faciliter le calcul, la valeur $C = 100$.

§ 8. *Détermination de la différence de hauteur.* —Si, simultanément avec la détermination de la distance, on veut aussi déterminer la diffé-

rence de hauteur entre l'instrument et le pied de la mire, la figure 4 donne la relation :

$$h = dtgn = (Ca \cos^2 n + K \cos n)\ tgn$$
$$h = Ca \cos n \sin n + K \sin n. \qquad (6)$$

La différence de la hauteur absolue entre la position de l'instrument et la mire résulte de la relation :

$$H + \frac{a}{2} = J + h$$

d'où :

$$H = J + h - \frac{a}{2}$$

Pour $J = \frac{a}{2}$ on a $H = h$, c'est-à-dire que pour éviter des calculs de réduction toujours ennuyeux, il faut s'arranger de manière à lire l'angle de hauteur n pour une position de la lunette telle, que le fil à niveler découpe sur la mire une hauteur égale à celle de l'instrument. Si, comme cela arrive souvent, on est gêné par des difficultés de terrain ou des buissons, d'amener le fil à niveler à la hauteur J sur la mire; on prendra, pour faciliter la réduction, J + 1 mètre ou J + 2 mètres, et l'on réduira la hauteur calculée de 1 mètre ou de 2 mètres.

§ 9. *Réductions.* — En travaillant à de grandes distances ou à de petites échelles, on négligera généralement la constante K dont la valeur varie suivant la construction des instruments de $0^m,30$ à $0^m,50$. En tenant compte de cela, on peut simplifier beaucoup les formules 4 et 6 sans que leur exactitude en souffre.

Pour le prouver, nous allons admettre un cas extrême, et supposer que l'inclinaison de la lunette soit $n = 30°$ et la constante $K = 0^m,50$.

On sait que $\sin 30° = 0,5$

$\cos 30° = 0,866$

d'où nous déduisons :

$$K \cos n = 0^m,433$$
$$K \cos^2 n = 0^m,375$$

et par soustraction :

$$K \cos n - K \cos^2 n = 0^m,058$$

de sorte que, sans craindre d'avoir une erreur de plus de $0^m,06$, nous pouvons écrire notre formule 4 comme suit :

$$d = (Ca + K) \cos^2 n \qquad (8)$$

et par analogie la formule 6 comme suit :

$$h = (Ca + K) \cos n \sin n. \qquad (9)$$

Dans la supposition du cas extrême $n = 30°$, et $K = 0^m,5$ la valeur de la différence de hauteur varie comme suit :

$$K \sin n - K \sin n \cos n$$

et en introduisant les valeurs numériques

$$0,25 - 0,216 = 0^m,034$$

une différence qui peut d'autant plus être négligée, que dans ces conditions, d'autres sources d'erreurs peuvent influencer beaucoup plus l'exactitude du résultat.

Dans les formules 8 et 9 sont réunies nos deux constantes, ce qui, comme nous le verrons plus loin, peut facilement être fait mécaniquement.

Pour des levés topographiques à l'échelle du $\frac{1}{5,000}$ au $\frac{1}{50,000}$, on peut, sans inconvénient, négliger la deuxième constante et écrire les formules comme suit :

$$8a \qquad d = Ca \cos^2 n$$

$$9a \qquad h = Ca \cos n \sin n = \frac{Ca. \sin 2n}{2}$$

La valeur $K = 0^m,5$ reste dans ce cas en dehors de la limite de ce que l'on peut représenter par le dessin.

§ 10. *Essai et correction des fils micrométriques.* — Comme nous l'avons vu, lorsque les fils peuvent être corrigés, on donne de préférence à la constance C la valeur 100. La vérification et la correction de la constante des fils peut se faire le plus simplement comme suit :

Après que l'instrument a été placé sur un terrain horizontal, on trace une ligne droite, dans laquelle on amène l'axe optique ou l'axe de collimation de l'instrument et l'on fixe avec le fil à plomb la portion du foyer antérieur de la lunette sur cette ligne droite. A partir de ce

point (fig. 5), on mesure et détermine sur cette ligne droite, des distances de 10 mètres en 10 mètres et suivant la force de la lunette jusqu'à 100 mètres.

Si la mire est placée verticalement aux distances de 10, 20, 30..., 100 mètres, on doit lire entre les fils parallèles des segments de 10,20, 30..., 100 centimètres. Si cela n'a pas lieu, on ramène, au moyen des vis de correction, les fils dans une position qui satisfait à cette condition. Pour s'assurer que les fils n'ont pas cédé, il convient de refaire cette vérification de temps en temps. Pour des appareils micrométriques bien construits, la distance des fils reste pendant des mois constante, de sorte que l'on n'a besoin de faire la correction que de temps en temps et pour laquelle dans bien des cas il suffit de viser sur des points fixes ou stations dont les distances ont été mesurées directement ou trigonométriquement.

§ 11. *Mires.* — Pour les levés à grand échelle et à petites distances, il convient d'employer des mires divisées en centimètres, pour les plus grandes distances, il convient d'avoir des divisions de 5 en 5 centimètres. Il convient d'avoir, d'un côté de la mire, la première de ces divisions et de l'autre côté, la seconde. La figure 6 montre les deux côtés d'une pareille mire. Il faut éviter toutes divisions d'un dessin compliqué. L'ingénieur fera bien de faire lui-même la division sur la mire avec un mètre original, ou de ne la confier qu'à un dessinateur dont il est très sûr. Les contours des centimètres seront tracés au tire-ligne avec de la couleur à l'huile et les chiffres devront être simples et très lisibles.

Avec une lunette grossissant de quinze à vingt fois, on peut facilement lire sur la division en centimètres, jusqu'à une distance de 70 à 100 mètres et sur celle en 5 centimètres jusqu'à 350 à 400 mètres. Il faut surtout veiller à ce que la mire soit tenue verticalement, et il faut bien y exercer les porte-mires. Pour les points fixes il convient de se servir d'un niveau à bulle à tabatière ou niveau sphérique pour obtenir la verticalité, mais jamais du fil à plomb, celui-ci gênant le mouvement du porte-mire, sans que le but que l'on se propose soit atteint surtout quand l'air est agité.

§ 12. *Addition mécanique des deux constantes.* — Si pour un

instrument donné la constante $C = 100$, on obtiendra facilement, en terrain plat, la distance jusqu'à la mire comme suit :

$$d = 100 . L + K$$

Pour déterminer la valeur L sans calcul, on visera avec le fil inférieur à 1,000 mètres, ou si ce point n'est pas visible à 2,000 mètres. Si l'on doit tenir compte de la constante K et supposant que celle-ci ait la valeur de 0,5 mètres, on placera le fil-inférieur à 1,005 mètres, c'est-à-dire avec la petite division de la mire au milieu d'un centimètre et pour la grande division au bord de la division métrique d'un centimètre d'épaisseur; le segment lu sur la mire est alors augmenté de $\frac{1}{100}$ K conformément à la formule :

$$d = 100 \left(L + \frac{K}{100} \right)$$

Cette méthode de tenir compte de la constante K est si simple que l'on peut se passer d'examiner les autres moyens d'atteindre le même but. Cela démontre aussi que la complication de l'appareil optique de Porro (tube analatique) peut être complètement évitée par ce moyen si simple. Par là les formules 8 et 9 se laissent ramener à cette formule encore plus simple :

$$(10) \qquad d = Cl \cos^2 n$$

$$(11) \qquad h = Cl \cos n \sin n = Cl \frac{\sin 2 n}{2}$$

où l représente le segment lu sur la mire $L + \frac{1}{100} K$.

Ces deux expressions peuvent être résolues de différentes manières suivant le degré d'exactitude que l'on veut obtenir.

Pour des levés topographiques à la planchette, pour lesquels la distance et la hauteur de chaque point doivent être déterminées à mesure sur le terrain, on applique avec succès la règle à calculer logarithmique inventée par M. l'ingénieur Eschmann et perfectionnée par M. le professeur Wild. Pour des levées tachéométriques on emploie indifféremment la règle logarithmique ou des tabelles.

§ 12. *Règle à calculer la topographique.* — L'emploi de cette règle dépasse de beaucoup toutes les autres méthodes au point de vue de la

célérité du travail, et donne une exactitude qui, pour des levés topographiques, est suffisamment exacte dans la plupart des cas.

Cet instrument, décrit figure 7, se compose d'une règle A avec une coulisse dans laquelle circule une réglette C, et d'un coulisseau B. La règle A contient, à une échelle proportionnée à sa longueur, une division correspondante aux logarithmes ordinaires des nombres qui y sont inscrits. De manière que la distance de

1 à 2 = log 2
1 à 3 = log 3
1 à 4 = log 4
. . . .
1 à 10 = log 10 (unité de l'échelle).

(Le chiffre 1 est au commencement de la division parce que log 1 = 0).

Entre les nombres inscrits sont interpolés d'autres divisions, qui de 1 à 2 varient de 0,02 par exemple 1,02; 1,04, etc., et de 2 à 5 varient de 0u,05 par exemple, 2,05, 2,10 varient de 4,95, 5 unités par exemple, de 5,10, varient de 0u,10 par exemple 5u,10, 5u,20 varient de 9u,90, 10 unités que l'on peut lire directement.

Plus les nombres augmentent, plus les divisions sont rapprochées, parce que la différence de leurs logarithmes est toujours plus petite : entre les divisions on interpole à l'œil.

La deuxième moitié de la règle n'est qu'une répétition de la première.

Comme les logarithmes de 1, 10, 100, 1,000 ne se distinguent que par la caractéristique, on peut prendre 1 pour 10, 2 pour 20, 3 pour 30, 1 pour 100, 2 pour 200, etc., et les subdivisions ont alors des valeurs correspondantes. Sur la figure 5 le côté gauche de la règle porte la désignation $Ch = +1$ et le côté droit $Ch = +2$, par lesquels on entend désigner les différentes caractéristiques. Il est en général plus commode et suffisant de prendre la première division pour le nombre de 10 à 100, et la seconde pour ceux de 100 à 1,000. Naturellement, on peut donner aussi à la caractéristique les valeurs de 0, 1, 2, 3, etc., mais il sera préférable, pour la sûreté du calcul, de prendre la deuxième division pour la caractéristique d'unité supérieure. C'est surtout pour le calcul des hauteurs qu'on s'aperçoit de l'utilité de cette disposition.

On a gravé sur le coulisseau B et rapporté à la même unité logarithmique les logarithmes de $\cos^2 n$. Comme la fonction $\cos^2 n$ atteint

son maximum pour la valeur $n = 0$, c'est cette valeur maxima de $\cos^2 n$ qui termine la graduation à droite. Au fur et à mesure que les arcs croissent les valeurs $\cos^2 n$ diminuent, la valeur des arcs augmentait donc de droite à gauche. La partie du coulisseau qui est représentée sur la figure a donc la caractéristique — 1, et les logarithmes ont la forme 9..... — 10.

Comme ce n'est que pour $n = 71°,34$ que $\log \cos^2 n = -1$, et que des angles aussi ouverts ne se présentent jamais dans des levés topographiques, la grandeur du coulisseau en est réduite en conséquence et il devient plus maniable; puisque l'on peut arrêter la graduation pour $n = 40$ degrés.

Pour de petits angles $\cos n$ et aussi $\cos^2 n$ ont des variations très insensibles; au commencement les divisions correspondent donc à de grandes différences dans les arcs

la première	division après 0	correspond à	log cos 4°
la deuxième	—	—	log cos 6°
la troisième	—	—	log cos 8°

de 10 à 20 la graduation procède par intervalles de 2°, de 10° à 40° par intervalles de 1 degré.

§ 14. *Emploi du coulisseau pour* $\cos^2$ n. — L'emploi de ce coulisseau se saisit facilement. Pour $C = 100$ nous pouvons poser :

$$d = l \cos^2 n$$

ou

$$\log d = \log l + \log. \cos^2 n,$$

c'est-à-dire que le log d est donné par la somme algébrique du og e, le centuple de la lecture de la stadia et le $\log \cos^2 n$ de l'angle vertical.

Comme $\log \cos^2 n$ est toujours négatif, cette valeur se soustrait toujours de $\log l$, et la division du coulisseau découpe sur la division de la règle A, la distance réduite à l'horizon.

Supposons qu'en tenant compte de la constante K la lecture faite sur la mire soit $l = 2^m,50$ (voyez fig. 8).

On amène le point 0 du coulisseau B sur la division correspondante à 2,5 de la règle A et l'on peut alors lire successivement les différentes

distances réduites à l'horizon, correspondantes aux différents angles d'inclinaison.

On lira par exemple :

Pour $n = 4°$, $d = 249$	exactement	248,8
Pour $n = 6°$, $d = 247$	—	247,3
Pour $n = 8°$, $d = 245$	—	245,2
Pour $n = 10°$, $d = 242{,}5$	—	242,5
Pour $n = 20°$, $d = 220{,}5$	—	220,7
Pour $n = 30°$, $d = 187{,}7$	—	187,75
Pour $n = 40°$, $d = 146{,}5$	—	147 »

Nous trouvons que la concordance des résultats lus sur la règle avec ceux calculés exactement (au moyen de la table de logarithmes) est suffisante pour le but que l'on se propose dans un lever topographique. Dans un lever à l'échelle de $\frac{1}{5,000}$ 1 mètre de différence de longueur représente 1/5 de millimètre la limite extrême de ce qu'on peut représenter par le dessin. La lecture de la division est assez pénible pour des angles faibles, et pour des levers à la planchette à grande échelle et surtout pour la détermination de la distance des stations on n'a pas une exactitude suffisante.

Mais nous avons aussi :

$$d = l \cos^2 n = l\,(1 - \sin^2 n) = l - l \sin^2 n$$

Pour déterminer l'expression $l \sin^2 n$ on pourrait faire une division qui donnerait les log $\sin^2 n$;

mais comme on a :

$$\log \sin^{\circ}\ 0°,\ 34',\ 20'' = -4$$
$$\log \sin^{\circ}\ 1°,\ 48',\ 50'' = -3$$
$$\log \sin^{\circ}\ 5°,\ 44' = -2$$

cette division, dont l'intérêt est tout à fait secondaire, prendrait toute la longueur de la règle. C'est pourquoi, malgré la grande exactitude que l'on obtiendrait, il faut y renoncer. Il faut donc recourir à d'autres moyens pour arriver à la détermination des $\sin^2 n$.

Lors de mes opérations sur le terrain je me suis servi de la série des chiffres ci-après que l'on retient assez facilement :

$\sin^2 1^\circ =$	0,000305	ou en chiffres rond	1/32	pour 100.
$\sin^2 2^\circ =$	0,00122	—	1/8	—
$\sin^2 3^\circ =$	0,00274	—	1/4	—
$\sin^2 4^\circ =$	0,00487	—	1/2	—
$\sin^2 5^\circ =$	0,00760	—	3/4	—
$\sin^2 6^\circ =$	0,0109	—	1	—
$\sin^2 7^\circ =$	0,0148	—	1 1/2	—
$\sin^2 8^\circ =$	0,0194	—	2	—
$\sin^2 9^\circ =$	0,0245	—	2 1/2	—
$\sin^2 10^\circ =$	0,0302	—	3	—

Avec une multiplication, rapidement exécutée de tête, de la lecture par cette proportion en pour 100, on effectue facilement cette réduction. On peut toutefois négliger cette réduction pour les angles inférieurs à 2 degrés et, pour ceux supérieurs à 6 degrés, on peut employer le coulisseau avant d'examiner d'autres déterminations plus précises nous examinerons.

§ 15. *La coulisse.* — La coulisse C porte à la même échelle que la règle A et que le coulisseau B, les logarithmes de l'expression $\frac{\sin 2n}{2}$ les angles croissant de la droite à la gauche ou, en d'autres termes, l'expression réciproque $\frac{2}{\sin 2n}$ de gauche à droite.

La fonction $\frac{\sin 2n}{2}$ a son maximum pour $n = 45^\circ$.

$$\text{Pour } n = 45^\circ, \ \frac{\sin 2n}{2} = \frac{\sin 90^\circ}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\log \frac{1}{2} = \log 1 - \log 2 = 0 - \log 2 \log = - 2,$$

il s'ensuit que si le point d'origine, le premier trait avec une étoile est placé sur la division 1 de la règle, la division 45 de la coulisse doit correspondre avec 2 de la règle d'où l'on peut tirer cette conclusion que les log $\frac{\sin 2n}{2}$ sont les réciproques des valeurs correspondantes au-dessous.

C'est pourquoi la partie de la coulisse qui correspond à la première partie de la règle A, a la caractéristique — 1, la partie de la coulisse correspondante à la deuxième partie de la règle, la caractéristique — 2, les logarithmes des valeurs de la première moitié ont donc la forme 9...... — 10, ceux de la deuxième moitié 8...... — 10. Si l'on veut former la valeur de l'expression $h = \frac{l \sin 2n}{2} = l : \frac{2}{\sin 2n}$ cela se fait en soustrayant du log l correspondant à la lecture de la stadia le log $\frac{2}{\sin 2n}$. Si l'on met donc l'angle d'inclinaison en contact avec la lecture de la stadia sur la règle on lira sur la règle la valeur de h en face du trait à l'origine marqué d'une étoile. Si cette étoile sortait de la règle A, on pourrait aussi lire la hauteur en face de l'étoile qui est au milieu ou à l'extrémité à droite de la coulisse C, la caractéristique doit être appréciée d'après l'étoile à gauche, ce qui ne présente pas de difficultés pour une disposition symétrique des échelles, et en appliquant les caractéristiques indiquées à la figure 5.

D'après notre figure 9, où en face de l'étoile à gauche on a $h = 23{,}2$ on aurait :

$h = 23.2$ pour	$l = 192$	$n = 7°$
	$l = 207$	$n = 6° 30$
	$l = 223$	$n = 6°$
	$l = 267^m50$	$n = 5°$, etc.

A propos de la division, il est à remarquer que de 1° à 3° les divisions vont de 2 en 2 minutes et, au-dessous de 1°, de minute en minute. La division s'arrête à 35' ; cos log sin n cos n est pour $n = 34' 23'' - 2$. Cette valeur correspond à la fin de la division qui, prolongée jusqu'à $n = o$, eût été infiniment longue.

Mais il n'est pas du tout difficile de faire le calcul pour des inclinaisons inférieures à 35'. Comme pour ceux-ci :

le cos = 1 et le sin = l'arc,

on a, dans la supposition, de petits angles pour les arcs X et X' :

$$\text{Cos X sin X} = \text{X sin } 1''$$
$$\text{Cos X' sin X'} = \text{X' sin } 1''$$

d'où X : sin X' = X : X', c'est-à-dire que les sinus sont proportionnels aux arcs. On admettra toujours de préférence $\frac{X}{X'} = 10$.

Si l'on avait par exemple $n = 0° 6'$, on suppose $n = 60' = 1°$, on cherche la différence de hauteur *h* qui, pour la lecture à la stadia, correspond à ce dernier angle, et l'on en prend le dixième comme correspondant à l'inclinaison 0°6'. Supposons comme deuxième exemple $n = 0°,20'$, on aurait pour l'inclinaison $200' = 3°,20'$ et l'on prendrait sur la règle la différence de hauteur correspondante dont on prendrait le 1/10, comme celle correspondant à l'inclinaison de 0°,20.

Comme on peut s'en assurer en calculant directement par les logarithmes, ce procédé est suffisamment exact.

Nous avons :

$$\log \cos 5°,47 \sin 5°,47 = -1$$
$$\log \cos 0°,34'4 \sin 0°,34'4 = -2$$

le $\frac{1}{10}$ partie de l'arc 5°,47' est $\frac{347}{10} = 34',7$, ce qui donne une approximation à $\frac{3'}{10}$ près.

§ 16. *Détermination de la hauteur pour une distance donnée.* — Dans les levés topographiques à la planchette, il arrive fréquemment que des points particuliers et inaccessibles, tels que clochers d'église, maisons isolées, têtes de rochers, sont fixés en position sur la planchette par intersection. Si l'on veut déterminer leur altitude, on procédera différemment de ce qu'on a fait jusqu'ici. On prendra au compas sur la planchette et on lève à l'échelle la distance réduite à l'horizon. Si l'on prend sur le coulisseau B l'inclinaison et qu'on la mette en concordance avec cette distance réduite, on lira en face du 0 du coulisseau la valeur *l* de la lecture qu'on aurait faite sur la mire, si on l'avait placée sur ce point inaccessible. Le nombre de degrés sur la coulisse mis en contact avec le 0 du coulisseau, donne la lecture correspondante à la différence de hauteur. Dans ces différents calculs, il ne faut pas négliger de tenir compte de la hauteur de l'instrument. En raison de l'incertitude que présente la prise à l'échelle des distances et surtout si l'on doit se rapporter plus tard à ces points, il convient de les déterminer plusieurs fois.

§ 17. ***Règles à calculs françaises de Lenoir, perfectionnées par Mannheim.*** — On peut aussi se servir de la règle ***Lenoir*** perfectionnée par ***Mannheim***, très usitée en France pour calculer les distances réduites à l'horizon et les différences de hauteurs, mais les opérations ne sont pas aussi simples qu'avec la règle à calculer topographique de Wild, parce que sur la première on n'a que les log des fonctions sin., cos., tang. et cotang. Comme nous avons à faire avec les expressions $\cos^2 n$ et $\cos n \sin n$, c'est-à dire le produit de deux fonctions, il faut, en opérant avec la règle à calculer ordinaire, une opération de plus qu'avec la règle à calculer topographique. Comme le temps que l'on gagne avec cette dernière lui donne une préférence marquée, on peut d'autant mieux passer sous silence l'emploi de la règle ordinaire que, pour les travaux extérieurs par les temps humides, l'emploi de celle-ci n'est pas à conseiller, parce que cette règle en bois subit les influences atmosphériques et fonctionne mal.

§ 18. *Détermination de* $l \sin^2 n$. — Nous avons dit au paragraphe 14 que pour déterminer exactement la distance il fallait appliquer la formule :

$$d = l - l \sin^2 n$$

surtout pour de faibles inclinaisons de 2° à 10°. Dans ce but et dans ces limites la division de la coulisse rend de grands services. Elle porte l'expression des fonctions $\sin n \cos n$ et en répétant l'opération $\sin^2 n$, $\cos^2 n$, en d'autres termes pour d'aussi petits angles d'inclinaison, on peut admettre avec une approximation suffisante $\sin^2 n \cos^2 n = \sin^2 n$, comme le montre le tableau ci-après :

1°	0,0003046	— 0,0003045	= 0,000001
2°	0,001218	— 0,001217	= 0,000001
3°	0,002739	— 0,002732	= 0,000007
4°	0,004866	— 0,004842	= 0,000024
5°	0,007596	— 0,007538	= 0,000052
6°	0,01092	— 0,01081	= 0,00011
7°	0,01485	— 0,01463	= 0,00022
8°	0,01937	— 0,01899	= 0,00038
9°	0,02447	— 0,02387	= 0,00060
10°	0,03015	— 0,02924	= 0,00091

Même pour $n = 10$, la différence entre ces deux fonctions est si petite, que l'on peut prendre l'une pour l'autre sans que les résultats soient altérés de manière à dépasser la tolérance admissible.

Un exemple numérique le démontrera : soit $l = 2.50$, $n = 10°$, on a conformément au paragraphe 14 :

$$d = l \cos^2 n = 242.5$$

Si nous voulons former la valeur $l \sin^2 n$, nous plaçons sous 2.50 la valeur de l'arc 10° et nous lisons en face de l'étoile :

$$l \sin n = 42.8$$

Nous plaçons la valeur de l'arc en coïncidence avec 42.8 et nous obtenons en face de l'étoile :

$$l \sin^2 n = 7.35$$

d'où $$d = l - l \sin^2 n = 250 - 7.35 = 242.65$$

coïncidant à 0.15 avec la valeur calculée ci-dessus, soit à $\frac{1}{1670}\, l$ près.

Le calcul numérique donne :

$$\log l = 2.39794$$
$$2 \log \cos 10° = 9.98670$$
$$\log d = 2.38464$$
$$d = 242.5$$

Au delà de 10°, la division de la coulisse est assez lisible pour que l'on puisse interpoler facilement. Il faut considérer que certaines distances auxquelles on attache une importance particulière, par exemple les distances de station, apparaissent généralement sous des inclinaisons inconsidérables. La règle à calculer topographique donnera toujours rapidement et avec une précision suffisante les résultats dont on a besoin. Les règles à calculer ordinaires, les tableaux ou diagrammes ne se prêtent pas bien aux travaux sur le terrain, c'est pourquoi nous les passerons sous silence.

§ 19. *Exactitude de la stadia.* — Par de nombreuses observations, je me suis convaincu que pour une constante de $C = 100$, en s'approchant de 100, les écarts pour une visée horizontale peuvent être

admis à $\frac{1}{600}$ de la distance. Les distances les plus avantageuses sont celles comprises entre 30 et 120 mètres jusqu'où, au moyen de lunettes grossissant 25 à 30 fois, on peut sur la mire apprécier des segments à 0,001 (1 m/m).

Mais l'exactitude dépend aussi d'un facteur sur lequel on ne peut pas toujours compter d'une manière absolue, c'est-à-dire du porte-mire. Au moyen du fil vertical de la lunette, on peut constater la position verticale de la mire dans le sens transversal, mais on ne peut pas s'assurer si le porte-mire l'incline vers lui ou contre lui. Avec un peu d'exercice un porte-mire arrive à s'habituer à placer la mire de manière à ce que le sommet ne dépasse pas le pied de plus de $\frac{1}{50}$ de la longueur de la mire.

D'après le traité de géodésie de Jordan, l'influence de l'inclinaison de la mire, soit l'erreur, ne dépasse pas les limites ci-après :

$\alpha = 0°$	erreur	0		
5°	—	0, 2	pour	100
10°	—	0, 4	—	—
20°	—	0, 7	—	—
30°	—	1, 2	—	—

Plus accidenté est le terrain, plus devient difficile la tâche du porte-mire. Pour les points importants, mais pour ceux-là seulement, il faut se servir d'un niveau à bulle d'air à tabatière ou niveau sphérique pour assurer la verticalité de la mire.

S'il ne s'agit que de la représentation du relief du terrain, les erreurs ci-dessus, indiquées dans la terminaison de la distance n'influent pas suffisamment pour que les résultats que l'on obtient ne soient pas suffisamments exacts pour les besoins pratiques.

Nous donnerons plus loin (p. 38, 39), le résultat d'expériences faites sur l'exactitude des observations.

§ 20. *Influence de la courbure de la terre et de la réfraction.* — Pour de grands levés topographiques à l'échelle de $\frac{1}{10.000}$ à $\frac{1}{25.000}$, le repérage de l'instrument se fait quelquefois sur des points fixes si éloignés, qu'il devient nécessaire de corriger les hauteurs en tenant compte

de la double influence de la courbure de la terre et de la réfraction. C'est pour cette correction que la partie inférieure de la règle a une division qui se rapporte aux distances indiquées à la partie supérieure de cette règle, dans ce sens que pour des intervalles de distance de 1000 — 10,000 mètres sur l'échelle des distances, correspondent sur l'échelle inférieure les valeurs de la réfraction en mètres ou fractions de mètres. Les chiffres de la division supérieure indiquent des kilomètres, ceux de la division inférieure des mètres.

Pour pouvoir vérifier numériquement l'exactitude de la division, et pour pouvoir appliquer d'une manière rationnelle cette correction, il nous paraît nécessaire de donner quelques explications préliminaires sur cette question de la réfraction et de la courbure de la terre.

L'axe optique de la lunette, dans la supposition qu'elle est réglée, c'est-à-dire qu'elle est parallèle à l'axe du niveau, donne *l'horizon apparent*, qui, pour le point qu'occupe l'instrument, est un plan tangent à la surface terrestre. En opposition avec l'horizon apparent, *l'horizon vrai* est une surface sphérique (faisant ici abstraction de la forme ellipsoïde ou plutôt sphéroïde de la terre), dont le rayon R est le rayon terrestre. Par l'opération de nivellement, on obtient donc partout des hauteurs trop fortes: Pour de petites distances, cette différence est très petite et négligeable, mais, pour de grandes distances, elle ne peut plus être négligée.

Si nous désignons par F′ la différence entre l'horizon vrai et l'horizon apparent, et la distance depuis l'instrument jusqu'à l'objet observé par $A\,D = A\,B = d$, le rayon terrestre par R, nous aurons d'après la figure 10 :

$$C\,D^2 = (R + F')^2 = R^2 + d^2$$

$$R + F' = R\sqrt{1 + \frac{d^2}{R^2}} = R\left(1 + \frac{1}{2}\frac{d^2}{R^2} - \frac{1}{8}\frac{d}{R^4} + \ldots\right)$$

et

$$F' = \frac{1}{2}\frac{d^2}{R} - \frac{1}{8}\frac{d^4}{R^3}$$

On peut, sans s'écarter beaucoup de l'exactitude, prendre la tangente pour l'arc ; on peut de même négliger le second terme de la formule qui est très petit, et on a :

$$F = \frac{1}{2}\frac{d^2}{R}$$

La différence entre l'horizon vrai et l'horizon apparent est donc proportionnelle au carré de la distance, c'est la raison pour laquelle on ne peut la négliger pour de grandes distances.

La brisure des rayons ou la réfraction exerce aussi son influence sur la détermination des hauteurs. Lorsqu'un rayon lumineux entre dans un autre milieu, il se brise; les rayons, trouvant des couches d'air de densités différentes, ne sont plus droits, mais deviennent une courbe. Cette courbe est généralement concave du côté de la terre, et tous les objets apparaissent trop haut à l'observateur, parce qu'il croit les voir dans la direction de la tangente à cette courbe.

Si l'angle au centre C correspondait à l'arc A B, l'angle D A E = C' est celui qui correspond à la réfraction. On a alors :

$$A\,D = A\,B = R\,c$$

et

$$E\,D = r = A\,D\,c'$$

Posons $C' = \alpha\,C$, α est le coefficient de réfraction ; on a alors :

$$D\,E = A\,D\,\alpha\,c = \alpha\,R\,c^2$$

et $c = \frac{A\,D}{R}$; en l'introduisant dans l'égalité, on a :

$$r = D\,E = \alpha\,\frac{\overline{A\,D}^2}{R} = \alpha\,\frac{d^2}{R}$$

La valeur de la réfraction croît donc aussi avec le carré de la distance.

D'après Gauss, la valeur moyenne de réfraction est $\alpha = 0{,}0653$. La correction des hauteurs par rapport à la réfraction et la réduction à l'horizon vrai sont donc :

$$F' - r = F = \frac{1}{2}\,\frac{d^2}{R} - 0{,}0653\,\frac{d^2}{R} = 0{,}4347\,\frac{d^2}{R}$$

Si l'on introduit en nombre la valeur du rayon terrestre, on a pour 1 mètre : $F = 0{,}000000068\,d^2$ dont les hauteurs déterminées par nivellement doivent être *diminuées*, et dont celles déterminées trigonométriquement doivent être *augmentées*, en tenant compte de la valeur du signe.

La partie inférieure de la règle donne l'indication de la valeur de cette correction correspondante aux distances indiquées sur la partie supérieure, mais non pas les logarithmes de ces valeurs. Afin que des

commençants puissent appliquer convenablement cette correction et lui donner toujours sa valeur réelle, pour éviter des calculs et pour mettre en évidence l'exactitude de la division, nous donnons ci-après quelques valeurs de F :

CALCULÉES PAR LA FORMULE		RÈGLE	
d	F	F	
500m	0m,02	0m,017	Il résulte de cette série, qu'au décuple de la distance correspond le centuple de la correction.
1,000	0 ,07	0 ,068	
1,500	0 ,15	0 ,16	
2,000	0 ,26	0 ,26	
4,000	1 ,06	1 ,07	
5,000	1 ,65	1 ,68	

Pour bien appliquer ces valeurs, on a gravé sur la partie inférieure du coulisseau un trait avec une étoile, qui correspond (fig. 6) avec la lame du coulisseau, et se trouve dans la même direction que le zéro de la division des $\cos^2 n$. Si l'on veut faire la correction pour une distance quelconque, on placera donc cet indice de la coulisse sur le logarithme de cette distance et l'on y a l'échelle inférieure sous l'étoile la valeur de cette correction.

Les règles à calculer topographiques ont été établies, soit pour la division centésimale ou du cercle en 400°, soit pour la division de cercle en 360°, et la maison J. Kern à Aarau fabrique des règles ainsi que des instruments pour ces deux divisions.

Expériences faites par M. Stambach, le 2 février 1879, sur *l'exactitude de la stadia à appareil micrométrique.*

Ligne de visée horizontale, petite lunette terrestre à grossissement $C = 15$ à 17 fois. Fils mobiles, éclairage satisfaisant.

Résultats obtenus :

PREMIÈRE SÉRIE.

Mesurage.	Observation.	Différence A.
67m50	67m50	0
63 80	63 80	0
61 60	61 50	— 10
58 30	58 20	— 10
50 90	50 95	+ 5
46 75	46 75	0
45 00	44 95	— 5
41 15	41 00	— 15
39 50	39 55	+ 5
36 85	36 95	+ 10
34 35	34 50	+ 15
30 65	30 70	+ 5
26 55	26 50	— 5
25 00	25 00	0
21 55	21 60	+ 5
19 40	19 40	0
16 35	16 30	— 5
14 50	14 55	+ 5

DEUXIÈME SÉRIE.

Mesurage.	Observation.	Différence A.
6m40	6m45	+ 5
9 65	9 75	+ 10
12 80	12 90	+ 10
14 65	14 80	+ 15
17 10	17 15	+ 5
19 50	19 50	0
22 20	22 15	+ 5
24 00	24 00	0
26 55	26 50	+ 5
29 40	29 50	+ 10
29 00	29 15	+ 15
31 05	31 05	0
32 95	32 95	0
35 75	35 80	+ 5
40 00	40 00	0
39 67	39 55	— 12
43 00	43 00	0
44 80	44 90	+ 10
48 10	48 00	— 10
50 00	49 95	— 5
49 61	49 60	— 1
49 90	49 90	0
51 80	51 85	+ 5
56 90	59 80	— 10
60 00	60 00	0

L'écart total est pour les 18 mesurages de la première série 1 mètre, et pour les 25 mesurages de la deuxième série 138 centimètres, ce qui fait que l'écart par chaque mesurage est en moyenne de :

$$\frac{1^{m} + 1^{m},38}{43} = \frac{238}{43} = 5.5 \text{ centimètres.}$$

et l'erreur à laquelle on peut s'attendre 8 centimètres ; il est à remarquer que les erreurs ne croissent absolument pas proportionnellement à la distance. Avec des lunettes à plus fort grossissement, on obtient une exactitude encore plus grande, ce que démontrent les observations de la troisième série, faites le 18 mai 1883.

Mesurage.	Observation.	Différence A.
4m30	4m20	— 10
7 20	7 15	— 5
6 00	6 00	0
9 50	9 45	— 5
10 90	10 90	0
13 20	13 20	0
14 80	14 80	0
18 20	18 15	— 5
20 10	20 10	0
19 00	19 00	0
22 80	22 80	0
25 80	25 90	+ 10
27 40	27 35	— 5
25 80	25 80	0
30m00	30m00	0
33 90	33 95	+ 5
36 00	36 05	+ 5
36 10	36 15	— 5
40 60	40 65	+ 5
43 00	43 00	0
47 90	47 20	0
45 70	45 80	+ 10
51 00	51 05	+ 5
54 90	55 00	+ 10
56 80	56 85	+ 5
59 60	59 70	+ 10
64 70	64 90	+ 20
68 40	68 50	+ 10

Pour les 28 mesurages, la somme des écarts est de 130 centimètres:

$$\frac{130}{28} = 4.6 \text{ centimètres, écart moyen.}$$

Fils fixes. — Au paragraphe 5, nous avons déjà dit combien il est désirable que la distance des fils soit constante et que l'on soit affranchi de tout appareil de correction. On adapterait à tous les instruments des fils fixes, s'il était possible au constructeur de les placer à la distance exacte de 100. Pour cela il faudrait, en admettant une exactitude à $\frac{1}{1,000}$ près, que la distance des fils, pour une distance focale de 0,35 de la lunette, puisse être déterminée à 0,0035 millimètres près, ce qui est très difficile à atteindre et ne peut être obtenu qu'avec beaucoup de tâtonnements et d'essais.

On ne conseillerait guère d'adopter pour atteindre ce but une combinaison optique; si l'on veut adapter des fils fixes, la constante doit être proportionnée à la dimension et à la précision de l'instrument.

D'autant plus petite est la constante, d'autant plus grand sera le segment lu sur la mire et correspondant à cette distance. L'exactitude augmentera donc quand la valeur de la constante diminuera: donc l'exactitude et la constante sont exactement en proportion inverse, c'est-à-dire qu'avec la constante $C = 100$, on déterminera les distances avec une exactitude double qu'avec la constante $C = 200$.

La constante pour les fils fixes est déterminée comme il est dit au paragraphe 10.

On projette sur le sol, au moyen d'un fil à plomb, le foyer antérieur de l'instrument placé horizontalement, et, depuis ce point, on mesure des distances quelconques : d_1, d_2, d_3, d_4 .... dn.

On lit les sections de la mire correspondantes à ces distances : l_1, l_2, l_3, l_4 .... ln, et on doit avoir :

$$C = \frac{d_1}{l_1} = \frac{d_2}{l_2} = \frac{d_3}{l_3} = \frac{d_4}{l_4} \dots = \frac{dn}{ln}$$

A cause des erreurs d'observation, on n'aura pas des valeurs parfaitement égales pour C ; on prend la moyenne arithmétique de celle-ci, et si l'on ne peut pas déterminer en les comparant entre elles les valeurs particulières de C, on prendra pour plus de simplicité :

$$C = \Sigma \left(\frac{d}{l}\right)$$

Une constante déterminée de cette manière peut être employée sans autre complication pour calculer les valeurs correspondantes à la hauteur et à la distance; pour cela on peut employer différentes méthodes.

Le moyen le plus simple consiste à placer une marque sur la division des $\cos^2 n$, qui est placée de telle manière, qu'en faisant coïncider cette marque avec le segment sur la mire, on aura en face de 0 de la division, la distance correspondante à la constante 100.

Si, par exemple, la constante $C = 95$, il faudrait pour la distance 100 que l'on eût sur la mire le segment 1.0526 entre les fils, conformément à notre équation $d = C\,l$, la marque sur la division $\cos^2 n$ du coulisseau B corresponde au log 1,0526 donc à droite du 0 de la division.

Sur la division lue sur la mire, on ne placera pas le 0 de la division, mais cette marque, ce qui correspond à la multiplication avec un facteur constant, qui, logarithmiquement, correspond à l'addition de l'espace compris entre le 0 de la division et la marque.

On pourrait aussi obtenir le même résultat en faisant la réduction graphiquement sur une échelle réduite proportionnellement à la différence de la distance de la constante. Mais comme ces échelles ne se construisent pas avec assez d'exactitude, il vaut mieux ne pas se servir de ce procédé. Un autre moyen est de faire la division de la mire proportionnellement à la distance des fils. Après avoir placé l'instrument et projeté sur le sol par le fil à plomb son foyer antérieur, on mesure depuis celui-ci des distances de 25 mètres à 25 mètres et, aux points correspondants, on met des indexes provisoires sur une mire peinte en

blanc. On obtient une série d'intervalles correspondant à une distance de 25 mètres. Si ces intervalles correspondent assez bien, on procède à la division et à la numérotation de la mire.

Un côté faible de ce procédé, c'est que les mires ainsi divisées ne peuvent être utilisées que pour une même constante, et qu'elles ne peuvent être employées comme mire pour le nivellement.

Pour des levés topographiques en terrain peu accidenté, on fait un grand usage des différences de hauteur déterminées par nivellement direct ; le revers de la mire doit alors avoir une division pour le nivellement facile à distinguer, pour ne pas la confondre avec celle pour la détermination des distances.

Comme moyen pour tenir compte des constantes variables, on peut citer l'usage des tables tachymétriques qui, combinées avec une règle à calculer ordinaire, donnent les produits cherchés. Mais, comme en principe, nous ne sommes pas partisan de l'emploi de tables pour les travaux sur le terrain, nous nous bornons à indiquer ce moyen.

CHAPITRE III

DESCRIPTION D'UNE PLANCHETTE ET DE SES ACCESSOIRES, APPROPRIÉE AU LEVÉ A LA STADIA TOPOGRAPHIQUE.

Les planchettes d'arpenteur que l'on construit en France sont en général peu appropriées au levé à la stadia topographique. Nous pensons utile de faire ici la description des principaux types que nous employons en Suisse à cet usage. Les figures sont empruntées au prix courant illustré de J. Kern, constructeur bien connu à Aarau.

Les figures 11, 12, 13 (pl. 83), représentent les principaux types. Les dimensions des feuilles de planchettes varient entre $0^m,420$ sur $0^m,480$, $0^m,540$ sur $0^m,600$ et $0^m,600$ sur $0^m,660$, suivant l'échelle à laquelle on lève.

La construction des trépieds et embases (statif) varie. La disposition (35)[1] de la figure 11 est surtout appropriée avec la plus petite feuille de planchette aux levés à petite échelle dans la haute montagne.

1. Tous ces n^{os} entre parenthèses sont ceux du *Catalogue illustré* et du *Prix courant* de M. Kern, que nous avons conservés.

La disposition (37), figure 12, est la plus généralement employée.

La disposition (40) de la figure 13 ou trépied de théodolithe est surtout employée pour les levés du cadastre à grande échelle.

Ce pied est composé d'un triangle rigide *t*, à trois vis calantes *v*, d'un centre vertical *c* très fort, d'une vis de pression *p* et d'une vis de rappel *r*, d'un plateau triangulaire *pt*, auquel se rattache l'anneau de la feuille de planchette. Cette disposition permet de déplacer la feuille de planchette dans son plan, de manière à placer facilement le point sur la planchette d'aplomb sur son correspondant sur le terrain, sans toucher au trépied.

La disposition des *règles-alidades* à lunette varie aussi. Elles ont, ou un cercle vertical complet, ou un demi-cercle ou quart de cercle seulement. Toutes les lunettes sont munies de l'appareil micrométrique pour la stadia. La disposition (52), figure 11, avec cercle de 0^{m},012 et règle de longueur de 0^{m},420, s'emploie pour les levés topographiques à petite échelle.

La disposition (50), figures 12 et 14, appelée *alidade nivellatrice*, a cela de particulier qu'on peut démonter la règle rapidement et placer la lunette et le niveau sur le trépied de la planchette (37), et on forme ainsi un excellent instrument à niveler ; c'est ce qu'indique la figure 14. C'est pourquoi, dans cette disposition, la lunette *t* peut être retournée dans ses guides-étriers *l* et le niveau *n* est mobile. La lunette a 0^{m},360 de long, le demi-cercle vertical 0^{m},105 de rayon avec un vernier donnant les minutes, la longueur de la règle est de 0^{m},540. Le plateau triangulaire (62), qui est placé au-dessous de la planchette, porte, incrusté, un cercle horizontal de 0^{m},100 à 0^{m},120 de diamètre, avec vernier à division de une minute. C'est le modèle le plus répandu et le plus commode.

La grande alidade (56), figure 13, à cercle entier de 0^{m},160 de diamètre, lunette de 0^{m},300 de longueur, règle de 0^{m},540 de longueur. Comme le montre la figure 14, cette alidade peut également être transformée en un appareil à niveler.

Les règles des alidades (50), figure 12 à (56), figure 13, ont une disposition spéciale. C'est la règle parallèle *ll* qui est reliée à la règle principale, celle qui supporte la lunette au moyen de charnières ou bielles *dd*; en *f* se trouve un taquet qui permet de laisser fixée à l'alidade cette règle parallèle et un bouton qui permet de lui donner un mouvement parallèle à la règle principale. Cette disposition a été proposée en 1845

par M. l'ingénieur Eschmann[1] ; elle fait gagner beaucoup de temps, en n'obligeant pas, à chaque visée, et elles sont nombreuses, d'ajuster exactement au point visé, l'alidade qui est passablement lourde. Il se produit, il est vrai, surtout lorsque les tourillons des charnières sont usés et excentrés, une petite déviation du parallélisme avec la visée; mais l'expérience a prouvé que cette déviation ne dépasse pas $0^m,003$ (3/10 de mill.) sur la longueur de la règle. Il en résulte, surtout pour les levés à petite échelle, où les lignes du point de station au point visé (ou, par exemple $\frac{1}{5,000}$ $400^m = 0^m,08$ au $\frac{1}{25,000}$ $= 0^m,016$), sont très courtes, une différence qui est loin d'atteindre la limite d'exactitude que permet l'échelle elle-même. On peut donc, sans crainte, adapter ce petit artifice, qui fait gagner considérablement de temps.

Accessoires de la planchette et de l'alidade (fig. 12-13).

(67) est la boussole dite *déclinatoire*, renfermée dans une boîte en laiton avec aiguille aimantée de $0^m,155$, l'arc de cercle étant divisé en demi-degrés, elle se place sur la planchette pour orienter celle-ci.

(71) est le niveau à bulle d'air rectifiable, destiné à niveler la planchette elle-même.

(78) est un compas d'épaisseur ou une fourche; on place une de ses extrémités g sur le point de station sur la planchette; à l'autre extrémité en dessous on attache le fil à plomb (73) et l'on place ainsi le point de la planchette exactement au-dessus de son correspondant sur le terrain.

(79) sont des pinces à vis qui servent à fixer le papier sur la feuille de planchette, enfin, une forte loupe pour faciliter la lecture sur le cercle vertical et sur la règle logarithmique. A titre de renseignement, nous indiquerons qu'une planchette complète du plus grand modèle, comme la figure 12 avec alidade (56) et tous ses accessoires, la règle logarithmique et la mire reviennent à 593 fr. 50, le tout pris à Aarau, chez M. J. Kern.

1. Voir Wild, *loc. cit.*, 1847, page 74.

CHAPITRE IV

APPLICATION DE LA MÉTHODE DE LA STADIA TOPOGRAPHIQUE AUX ÉTUDES DE CHEMINS DE FER, ROUTES, ETC.

Comme nous l'avons dit, en Suisse non seulement, cette méthode est employée pour le levé de la carte topographique, qui s'est faite à l'échelle de $\frac{1}{25,000}$ et de $\frac{1}{50,000}$ dans la haute montagne et pour le cadastre, mais surtout pour des études de routes et de chemins de fer, travaux hydrauliques, etc., et cela depuis plus de quinze ans. C'est par cette méthode que M. Wetli a fait au $\frac{1}{10,000}$ les levés qui ont servi de base aux premières études du chemin de fer du Gothard en 1865. C'est par cette méthode aussi que j'ai fait faire tous les levés pour les nouvelles études du passage du Simplon en 1881-1882.

On commence d'abord, par déterminer, d'après les cartes topographiques, la direction générale du tracé et l'on piquette sur le terrain un polygone ou ligne d'opération suivant cette direction générale. Dans les pays où l'on a à sa disposition de bonnes cartes topographiques à grande échelle, avec de nombreux repères de nivellement cotés, avec des courbes de niveau équidistantes et pas trop éloignées, comme c'est le cas en Suisse, celles-ci sont suffisantes, en s'aidant de quelques reconnaissances de terrain pour déterminer ce polygone ou cette ligne d'opération et la fixer ou jalonner sur le terrain. Là où les cartes dont on dispose sont moins complètes, on s'aide, pour déterminer cette ligne d'opération, du baromètre anéroïde, avec lequel on détermine assez approximativement une ligne de pente.

Partant de points fixes du nivellement général, on fait un nivellement de repères le long de cette ligne d'opération, repères que l'on rattache au nivellement général, en les plaçant de préférence aux sommets d'angle du polygone ou de la ligne d'opération.

Si les sommets de cette ligne ou de ce polygone sont très éloignés, on place des repères intermédiaires.

On lève au théodolithe les angles formés par les lignes du polygone

et on chaîne les côtés. Si l'on opère dans un pays très accidenté, que ce chaînage présente des difficultés, et que les levés doivent servir à un projet dont l'exécution est assurée et qui pourra donner suite à l'étude de plusieurs variantes, on remplacera le chaînage par une triangulation soignée faite au théodolithe : c'est-à-dire que l'on rattachera tous ces sommets d'angle à la triangulation générale du pays, en déterminant leurs coordonnées géographiques. S'il n'y a pas de triangulation du deuxième degré à réseau serré et à signaux ou points fixes rapprochés, on y suppléera en mesurant une base et en partant de là pour faire un réseau spécial. On déterminera aussi par la triangulation les altitudes des points fixes.

Pour des études d'avant-projet, surtout en pays peu ou moyennement accidenté, comme est la moyenne partie de la France, on peut se passer de la triangulation et se contenter de l'orientation à la boussole; on obtient ainsi un degré d'exactitude suffisant.

L'échelle la plus à recommander pour ces levés est le $\frac{1}{5,000}$ et l'équidistance des courbes de 1 mètre en pays plat, de 2 mètres dans un pays moyennement accidenté, de 3 mètres dans la région montagneuse moyenne (exemple, Jura), et à 5 mètres dans la haute montagne (Alpes).

Cela fait, on prépare les feuilles de papier, ou mieux encore de carton bristol, que l'on doit placer sur la planchette. On les quadrille très exactement en carrés de $0^m,100$ de côté, ce qui, à l'échelle du $\frac{1}{5,000}$ représente des carrés de $\frac{1}{2}$ kilomètre de côté ou de $\frac{1}{4}$ de kilomètre carré, soit 250,000 mètres carrés. Ces carrés sont cotés ou numérotés suivant un système de coordonnées rapporté au méridien de la triangulation générale du pays, c'est-à-dire des coordonnées géographiques.

Sur ces feuilles, on rapporte exactement à l'échelle la partie du réseau de la triangulation spéciale et la ligne d'opération ou le polygone, ainsi que les points fixes ou signaux de la triangulation générale du pays qui rentrent dans le cadre de la feuille.

Cela fait, on se rend avec la planchette sur le terrain, on place chacun des points du polygone qui sert de station exactement sur son correspondant sur le terrain. Pour les levés à grande échelle, on le fait comme nous l'avons dit au moyen de la fourchette (78), figure 13, ou compas d'épaisseur, à la branche inférieure de laquelle est fixé un fil

à plomb (73). Pour l'échelle de $\frac{1}{5,000}$, on peut se borner à le faire à l'œil à 1 ou 2 centimètres près.

On oriente ensuite la planchette, d'abord avec la boussole, puis, plus exactement, en plaçant l'alidade à lunette (56), figure 13, sur la ligne qui relie le point de station avec un signal éloigné fixé sur la planchette; on rappelle avec la vis de réglage jusqu'à ce que l'on aperçoive le signal dans l'axe de la lunette; quand on n'a pas de signal éloigné en vue ou que l'on n'a pas fait de triangulation préliminaire, on se contente d'orienter la planchette avec la boussole déclinatoire (67), figure 13, en tenant compte de la déclinaison du lieu, et en contrôlant cette opération par une visée à l'alidade sur un point éloigné déjà fixé sur la planchette. Il est bon de se ménager des lignes de raccordement aussi longues que possible, communes à deux feuilles successives de planchette.

Si les points du polygone au delà de la triangulation ne sont pas assez rapprochés pour servir de station, on détermine des points intermédiaires qui en tiennent lieu, et on le fait par recoupement ou intersection, en ayant soin toutefois d'avoir des angles de recoupement qui ne soient ni trop aigus ni trop obtus, pour que les points soient déterminés avec une netteté suffisante.

Depuis chaque station, on prend le plus grand nombre de points possible, et, dans l'intérêt de l'accélération du travail, il faut y avoir égard en choisissant le point de stationnement. Chacun de ces points donne lieu aux opérations suivantes : 1° visée à l'alidade et lecture sur la mire; 2° lecture sur le cercle vertical; 3° calcul de la distance réduite à l'horizon et de la différence de hauteur au moyen de la règle logarithmique; 4° prendre cette distance au compas sur l'échelle et la reporter sur la planchette en y fixant la position du point; 5° coter la hauteur de ce point (en ajoutant à la cote du repère de la station la la hauteur de l'instrument et en ajoutant ou retranchant, suivant le cas, la différence de hauteur avec le point observé).

Il est excessivement remarquable de voir avec quelle célérité se font ces diverses opérations. Un opérateur habitué à ce genre de travail arrive facilement à lever et à fixer sur la planchette 40 points par heure, en tenant compte de ce que, quand on opère, comme c'est généralement le cas, avec deux porte-mires, on a quelquefois à attendre jusqu'à ce que ceux-ci se soient placés aux points à observer. L'opérateur em-

ploie ce temps à tracer les courbes de niveau dans les parties déjà cotées.

Suivant que le terrain est plus ou moins accidenté, on peut compter de 1,200 à 2,000 points à lever par kilomètre carré, ce qui fait de 3 à 4 journées de travail, comptées à 10 heures en moyenne (12 heures en été et 8 en hiver). On pourra, d'après cela, se rendre compte du coût de ces levés, si l'on ajoute par kilomètre de ligne de 8 à 10 journées de travail pour la triangulation préliminaire et de 4 à 5 journées pour le nivellement des repères ; il faudra pour ce calcul tenir compte de la largeur du terrain à lever qui varie, mais qui ne dépasse généralement pas celle d'une bande de un demi-kilomètre. Il faut ajouter aussi un jour et demi à deux jours de travail de bureau par kilomètre carré à l'opérateur pour terminer la mise au net de sa feuille, passer à l'encre, teinter, etc.

Il est important et il y a lieu de tenir la main à ce que le tracé ou l'interpolation des courbes de niveau se fasse sur le terrain même, pendant que l'opérateur a sous les yeux l'impression immédiate de la contrée et de ses formes plastiques: le relief est figuré beaucoup plus rapidement et avec plus de vérité et de sincérité. Il est, comme nous l'avons dit précédemment déjà, *dessiné d'après nature* et c'est dans ce fait que nous constatons une grande supériorité sur la méthode dite *tachéométrique*.

En appliquant celle-ci, les points levés et nivelés sont notés dans des carnets *ad hoc* beaucoup plus tard, lorsque la campagne sur le terrain est terminée, ils sont rapportés sur un plan coté, où l'on trace alors et interpole les courbes de niveau. Celui qui fait ce travail n'a plus alors le terrain sous les yeux, il n'en a pas conservé l'impression bien nette dans sa mémoire, et ce tracé des courbes de niveau a forcément quelque chose de fantaisiste, surtout encore si la mise au net des levés se fait par une autre personne que par celle qui a levé le plan. J'ai eu souvent l'occasion de comparer des plans levés et rapportés d'après les deux méthodes, et de les comparer sur place avec le terrain levé. Ceux qui ont été levés au tachéomètre ont des courbes à formes régulières, arrondies, cotonneuses, tandis que ceux qui ont été levés à la stadia topographique ont des formes plus accentuées, rappelant mieux la physionomie particulière du terrain. En effet, l'opérateur ayant la nature sous les yeux, peut rendre les formes particulières que n'accusent pas suffisamment les cotes des points levés.

La distance à laquelle on peut observer avec une parfaite sécurité les divisions de la mire dépend du grossissement de la lunette. Généralement les lunettes des alidades de planchette ont un grossissement de 20 fois, grossissement qui pourrait même être porté jusqu'à 40 fois. Sur une latte divisée très clairement en noir et pas trop chargée, on peut, avec un grossissement de 20 fois, parfaitement observer à 300 mètres de distance. On peut même, dans des cas exceptionnels, lorsque l'air est transparent et en opérant avec précaution, déterminer avec une exactitude parfaitement suffisante, des points jusqu'à une distance de 500 mètres, mais il ne faut pas en abuser et il faut rester dans la moyenne de 200 à 250 mètres.

L'exactitude que l'on obtient par des levés faits ainsi est parfaitement suffisante pour le but que l'on se propose.

Au moyen de ces plans, on peut parfaitement déterminer au bureau tous les différents tracés ou variantes, en établir les devis sommaires et les comparer entre eux. Pour cela, on établit des profits en long et en travers, les premiers à l'échelle du plan, soit $\frac{1}{5,000}$, les seconds à l'échelle décuple, soit au $\frac{1}{500}$.

On se sert pour rapporter ces profils d'une règle ordinaire R (fig. 15) sur laquelle on fait glisser une équerre T, dont le grand côté A a une division en biseau qui est à l'échelle décuple des longueurs $\left(\frac{1}{500}\right)$ sur le profil en long et se trouve être l'échelle de grandeur naturelle pour les profils en travers.

On peut ainsi déterminer très exactement la forme des terrassements et leur volume en planimétrant[1] la surface des profils en travers, sur lesquels on a rapporté le projet, et établir un métré et mouvement des terres avec une exactitude approchant des résultats que l'on obtiendrait sur des levés définitifs avec profils en travers à l'échelle de $\frac{1}{200}$ de 5 à 6 pour 100 près. On peut déterminer la position des têtes des tunnels et leur longueur, la position et la longueur des ouvrages d'art et leur surface latérale, en un mot, tous les éléments nécessaires pour l'établissement d'un devis sérieux.

1. Au moyen du planimètre polaire d'Amsler.

Il est à observer que, si l'on a fait une triangulation préliminaire, on aura la longueur du tracé, de ses éléments, alignements et courbes avec une exactitude parfaite, aussi précise que si l'on avait déterminé par un chaînage direct les longueurs des tangentes formant la charpente du tracé ; cette exactitude est la même que celle de la triangulation, qui constitue une opération géodésique fermée et contrôlée. Si l'on n'a pas fait de triangulation préliminaire, l'exactitude sera moins grande, il est vrai, mais elle sera plus que suffisante pour un avant-projet.

Dans un terrain très accidenté et à pentes transversales accentuées, on peut recommander de piqueter ensuite, sur le terrain, le tracé qu'on aura fixé sur les plans. Cette opération se fait en retournant tout le terrain avec les feuilles originales de la planchette, que l'on oriente. Dans ce tracé, il faut surtout rechercher et fixer sur le terrain les points de hauteur que l'on a déterminés sur le profil, prendre note des légères déviations que peuvent donner au plan les points de hauteur choisis et corriger le tracé avant de le mettre complètement au net.

Il résulte de nombreuses expériences [1] que l'axe de la voie qui a été ainsi déterminé, exige rarement des modifications, et encore dans des limites très restreintes, et que là où les expropriations ne sont pas à prendre en considération, on peut procéder immédiatement à l'exécution sur la base d'un tel tracé, sans recourir à l'établissement d'un plan parcellaire.

Dans des cas urgents, par exemple en temps de guerre pour des lignes stratégiques, ou pour une déviation provisoire destinée à remplacer une ligne interrompue, on peut, dans l'intérêt de la célérité, faire marcher de pair sur place le levé du terrain et la fixation du projet et le piquetage de l'axe au moyen de la planchette et suivre à mesure avec l'exécution des travaux.

On peut, par cette méthode, réduire au strict nécessaire la largeur de la zone de terrain à lever. Supposons que l'on veuille étudier des tracés variant entre 15 et 20 millimètres de déclivité, l'ingénieur qui lève peut, pendant son travail, fixer sur sa planchette ces lignes de pente, limites du terrain à lever. Comparée à la méthode au tachéo-

1. Cette opinion est confirmée par une note de M. Rob. Moser, ingénieur en chef de la compagnie du Nord-Est suisse, sur les plans exposés par cette compagnie à Philadelphie, en 1876. *Bericht über die von der Bauabtheilung der Schweizerischen Nordostbahngesellschaft zur Ausstellung gebrachten Gegenstände.* Zürich, Orell-Füssli et Cie, 1876.

mètre, on peut dire que cette dernière est abstraite, parce que l'on ne rapporte du terrain que des chiffres abstraits, tandis que celle-ci est concrète et que l'on sait toujours à l'avance où l'on va.

Un avant-projet établi sur ces bases présente beaucoup plus d'exactitude et est bien plus complet que ce que l'on comprend généralement en France sous la désignation d'*avant-projet définitif*.

Je pense que les explications qui viennent d'être données auront permis de saisir les avantages que présente cette méthode sur celle du tachéomètre.

D'abord la célérité est plus grande, et partant le prix de revient du travail de levé, qui est proportionnel au temps employé, est bien moindre.

En effet, au tachéomètre, l'observation de l'angle vertical, la lecture sur la mire, avec les réductions à la règle logarithmique, exigent le même temps; l'inscription de la cote sur le carnet exige au moins autant de temps que sur le plan. Mais l'observation et l'inscription de l'angle horizontal au carnet exigent plus de temps que la simple visée avec la lunette alidade et la fixation du point sur la planchette.

Nous avons constaté qu'au tachéomètre l'ensemble des opérations relatives à la fixation d'un point prend plus du double du temps que pour cette même opération à la planchette.

Et encore avec la méthode tachéométrique faut-il ajouter le temps nécessaire pour le travail de bureau, c'est-à-dire pour transcrire dans la forme graphique toutes les indications du carnet et en mettant au net le plan, tandis qu'avec la planchette ce travail se fait à mesure.

Nous avons entendu relever cet avantage en faveur de la méthode de lever au tachéomètre, que l'on pourrait alors au bureau, et sans augmentation sensible de frais, obtenir des plans à une plus grande échelle. Cette objection ne nous paraît pas décisive; l'exactitude ne dépend pas de l'échelle à laquelle on rapporte le plan, mais de celle mise au levé, qui peut être exactement la même pour les deux méthodes; il est inutile d'adopter une échelle qui dépasserait l'exactitude inhérente à la méthode même d'évaluation des distances à la stadia, exactitude qui est commune aux deux procédés. Il ne faut pas que l'échelle dépasse le but qu'on se propose, on se crée inutilement des plans encombrants, sur lesquels on manque de vue d'ensemble et l'expérience a prouvé que celle du $\frac{1}{5,000}$ est suffisante pour ce but.

Du reste, quand les circonstances l'exigent, on peut aussi lever à la stadia à des échelles beaucoup plus grandes, sans que le coût des levés en soit augmenté proportionnellement.

Nous avons fait faire fréquemment des levés à l'échelle du $\frac{1}{500}$ avec courbes équidistantes de 1 mètre, qui ont servi à étudier des projets de détails pour des travaux d'assainissement de coteaux ébouleux, au moyen desquels on s'est procuré toutes les coupes nécessaires pour définir ces travaux : on les a piquetés sur place et on y a rapporté les cotes d'exécution pour établir les métrés définitifs et les décomptes des entrepreneurs. Nous nous sommes très bien trouvé de cette méthode. Nous savons qu'elle est pratiquée aussi avec succès depuis quelques années par M. Charbonnier, chef de section de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée à Genève et nous ne pouvons que la récommander.

Rappelons encore un avantage que nous avons déjà cité plusieurs fois au crédit de la méthode de la stadia topographique : c'est la plus grande *fidélité*, la plus grande *sincérité* du figuré du terrain au moyen des courbes de niveau, parce que celles-ci sont tracées pendant que l'opérateur a le terrain *sous les yeux*, ce qui fait qu'on peut dire qu'il lé *dessine* en quelque sorte *d'après nature*.

CHAPITRE V

QUELQUES RENSEIGNEMENTS SUR LES PRIX DE REVIENT DES LEVÉS PAR LA MÉTHODE DE LA STADIA TOPOGRAPHIQUE.

A. *Levés à petite échelle pour cartes topographiques.* — Nous avons déjà dit que la carte topographique suisse, dite *Atlas des minutes* ou *Atlas Siegfried*, du nom du colonel Siegfried, de son vivant chef du bureau topographique fédéral, qui en a commencé la publication et poursuivi la revision, a été levée par cette méthode. Elle est à l'echelle de $\frac{1}{25,000}$ pour la plaine et la région moyenne, et à l'échelle de $\frac{1}{50,000}$ pour les hautes montagnes (Alpes). Les feuilles sont identiques et ont une dimension de $0^m,350$ sur $0^m,240$. Cette carte aura en tout 561

feuilles, dont 442 au $\frac{1}{25,000}$ et 110 au $\frac{1}{50,000}$ (261 avaient été publiés en 1882).

La feuille au $\frac{1}{25,000}$ embrasse un champ de 8 km. 750 en largeur et 6 kilomètres en hauteur, ce qui fait une superficie de 52. 5 kilomètres carrés. La feuille au $\frac{1}{50,000}$ embrasse un champ de 17 km. 5 en largeur et 12 kilomètres en hauteur, soit 210 kilomètres carrés.

M. le colonel Lochmann, chef actuel du bureau topographique fédéral, a bien voulu nous communiquer les renseignements qui suivent sur le coût des levers de cette carte.

Ces prix ne comprennent pas ceux de la triangulation qui existait déjà. En général, pour chaque feuille, il est donné aux opérateurs trois points de triangulation qui sont nivelés, c'est-à-dire dont l'altitude est rattachée au nivellement de précision. L'opérateur est tenu de remettre sa feuille minute mise au net, moins les écritures, et de l'accompagner d'un calque sur lequel se trouvent les écritures, qui sont alors reportées sur la minute au bureau topographique central par des dessinateurs spéciaux. Les prix sont calculés à la lieue carrée (lieue suisse de $4^k,800$), qui correspond à $23^k,04$.

			Lieue carrée.	Kilomètre carré.
1° Echelle du $\frac{1}{25,000}$	(*a*)	Terrain facile	800 francs.	34 fr. 80
» »	(*b*)	» plus difficile	850 »	37 fr. 90
2° Échelle du $\frac{1}{50,000}$		Prix unique	450 »	19 fr. 60

Il est encore refait au bureau topographique un calque spécial, qui est remis au graveur. Ce calque est payé aux prix suivants :

	Décimètre carré de carte.	Kilomètre carré de terrain.
1° Échelle du $\frac{1}{25,000}$	30 francs.	5 francs.
2° » $\frac{1}{50,000}$	40 »	1 fr. 50.

En y comprenant ces calques, la carte prête pour la gravure coûte :

1° Échelle du	$\frac{1}{25,000}$	(*a*) Terrain facile	40 francs.	
»	»	(*b*) » plus difficile	43	»
2° »	$\frac{1}{50,000}$	Prix unique	21	»

Levé à l'échelle de $\frac{1}{5,000}$ *pour études de chemins de fer.* — Nous avons relevé le coût moyen du levé des 14 feuilles que nous avons fait établir en 1881-82 pour les études du Simplon, étude dont nous avons rendu compte dans notre séance du 26 avril 1883 à la Société des Ingénieurs civils [1].

La triangulation préliminaire, le tracé de la ligne d'opération et son rattachement à la triangulation et le nivellement des repères ont coûté de 250 à 300 francs par kilomètre carré de superficie.

Le levé et la mise au net complète des feuilles ont coûté de 500 francs à 700 francs par kilomètre carré. C'était en général un terrain très difficile et très accidenté ; le nombre de points relevés a varié de 12 à 30 par hectare. L'ensemble de ces opérations a donc coûté de 750 francs à 1,000 francs le kilomètre carré.

Il faut tenir compte de ce que la grande partie de ce travail a été faite en hiver, c'est-à-dire d'octobre à fin janvier, la durée de la journée de travail étant en moyenne de 9 heures par jour. En été, avec 12 heures de travail, on peut compter sur une réduction de 25 pour 100, et le prix d'établissement alors de 550 francs à 750 francs par kilomètre carré, tout compris.

La Société suisse des ingénieurs et architectes délibère maintenant sur un projet de tarif qui a été élaboré par une commission nommée par elle, tarif qui devait servir de base pour les études de ce genre qui se font à l'entreprise. Nous reproduisons la partie de ce tarif qui a trait aux études de chemins de fer faites par la méthode de la stadia topographique.

1. Voir Mémoires et Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils, juin 1883, page 782.

DÉSIGNATION des OPÉRATIONS.	PRIX PAR KILOMÈTRE COURANT DE PROJET.		
	Dans un terrain relativement plat.	Collines et vallées moyennement accidentées.	Montagnes et vallées accidentées.
A. Levés topographiques à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ avec courbes de niveau.	Francs.	Francs.	Francs.
Mise au net des feuilles :			
a) Sans triangulation............	150 — 200	200 — 250	250 — 300
b) Avec triangulation............	200 — 300	300 — 400	400 — 500
A *bis*[1]. Levés à l'échelle de $\frac{1}{2500}$:			
a) Sans triangulation............	200 — 275	275 — 350	350 — 400
b) Avec triangulation............	250 — 325	325 — 400	400 — 450
B. Piquetage sur le terrain de l'axe du projet. Nivellement et établissement du profil en long...........	150	200	250
C. Levé et établissement du plan de situation et parcellaire (cadastre), et établissement de l'état parcellaire indicatif des surfaces à exproprier Plans en trois expéditions; suivant que la propriété est plus ou moins parcellée......................	15 — 25	25 — 30	35 — 40

1. Cette estimation est personnelle à l'auteur et repose sur des données d'expérience.

Nous pensons, par les renseignements qui précèdent, avoir mis tous les ingénieurs à même d'appliquer cette utile méthode, dans laquelle on acquiert très rapidement une expérience suffisante pour peu que l'on ait opéré quelquefois, soit avec une planchette d'arpenteur, soit avec un tachéomètre, et nous serions heureux si nous pouvions par là contribuer à en généraliser l'emploi.

EXPOSÉ SOMMAIRE

DE

L'ÉTAT PRÉSENT DE L'AÉRONAUTIQUE

PAR **M. DUROY DE BRUIGNAC**

Pendant les vacances de la Société des Ingénieurs civils, un essai important de navigation aérienne, auquel la presse a donné une notoriété considérable, a été fait par les officiers dirigeant l'École aérostatique de Chalais-Meudon. Il convient, à cette occasion, de présenter l'état actuel de cette question, à laquelle notre Société s'est intéressée plusieurs fois, et relativement à laquelle certains résultats, à quelques égards plus avancés que ceux d'aujourd'hui, étaient exposés ici même il y a longtemps.

Nous n'entraverons pas ce court exposé en désignant toujours les auteurs des diverses améliorations que l'on possède aujourd'hui. Cela est étranger à la question elle-même; il serait d'ailleurs facile d'en trouver l'indication dans les publications spéciales.

Système général d'aérostat dirigeable. — Il n'y a pas lieu de rappeler les divers systèmes d'aéronautique, — aérostat fuselé ou aéroplane, « plus lourd que l'air » ou moins lourd, aéroplane à grandes ailes, ou grand aéroplane à petites ailes, etc., — qui conservent leurs tenants convaincus, et joueront peut-être un rôle important dans l'avenir. Aujourd'hui, on semble avoir enfin admis généralement que l'aérostat fuselé, essayé par H. Giffard, dès 1852 et 1855, par M. Dupuy de Lôme, en 1871, et récemment par MM. Tissandier, est l'appareil par lequel il convient tout au moins de commencer.

La condition première de ces appareils est la stabilité. On l'assure

suffisamment en conservant, à l'aérostat fuselé et à sa nacelle, la position relative qu'occupaient les parties semblables dans les anciens ballons sphériques. On va voir divers exemples du plus ou moins de rapprochement, entre la nacelle et l'aérostat, que les divers aéronautes ont cru pouvoir adopter.

Les croquis suivants reproduisent fidèlement les dessins très exacts sur lesquels ils ont été calqués.

Dans le premier aérostat de Giffard, en 1852 (fig. 1), toutes les

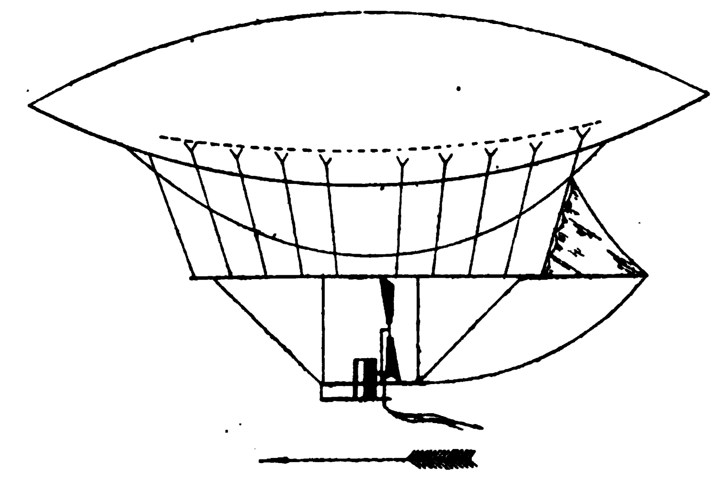


Fig. 1.

cordes du filet aboutissaient à une perche horizontale, ce qui paraît très favorable à la fermeté du système. Cet appareil atteignit 3 mètres de vitesse relative.

A son second essai, en 1855, Giffard, guidé par des considérations de vitesse[1], allongea notablement son fuseau (fig. 2), ce qui était très bon, mais sans maintenir la perche dont nous parlons. Il crut la remplacer suffisamment par un arc rigide en bois, suivant le profil supérieur de l'aérostat, et auquel le filet était attaché... Cet aérostat, après s'être élevé à 3,000 mètres, subit à la descente une déformation très dangereuse. La vitesse relative paraît avoir été de 4 mètres environ.

La forme du fuseau, très supérieure à celle de 1852, aurait sans

1. Il est à remarquer que Giffard marchait dans la voie que nous indiquons plus loin, et il est permis de penser qu'il était guidé par des considérations semblables. Des accidents atmosphériques entravèrent cette ascension.

doute permis de réaliser une vitesse notablement plus grande, si la distance entre la nacelle et l'aérostat, ainsi que le mode de suspension,

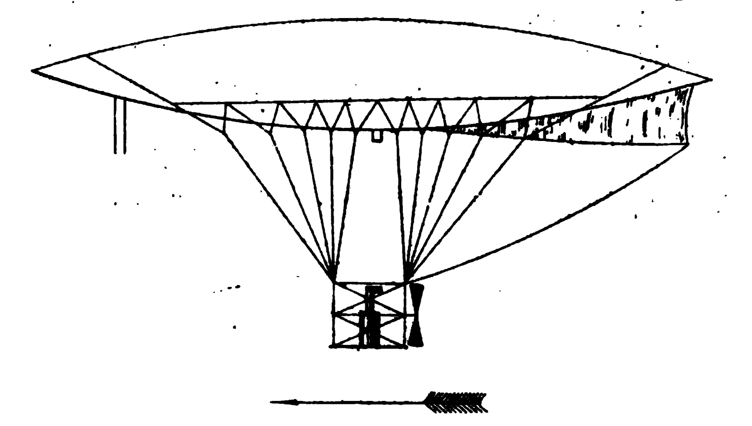


Fig. 2.

n'avaient pas placé le propulseur dans des conditions très défectueuses.

M. Dupuy de Lôme, en 1871, chercha à assurer la fermeté du

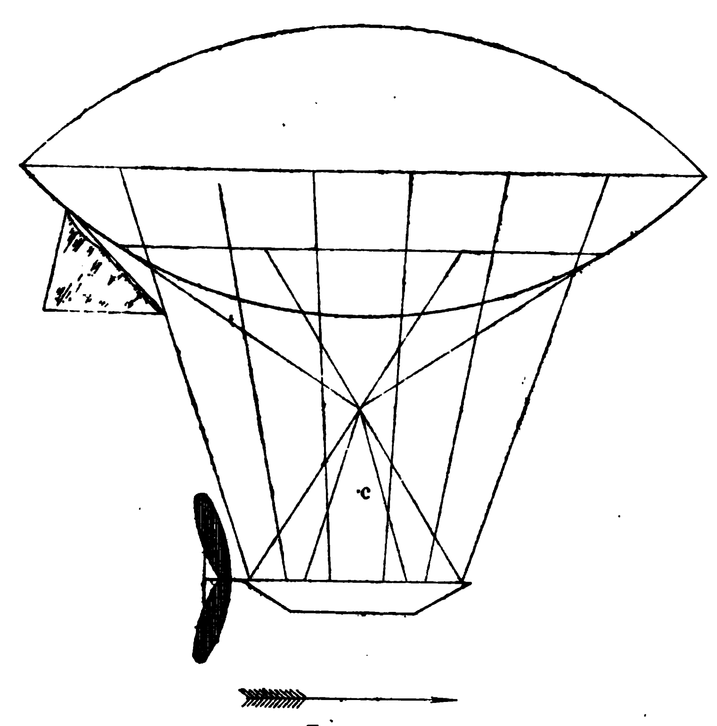


Fig. 3.

système par une combinaison savante de filets convergents, dont nous ne pouvons donner ici une idée suffisante. Cet aérostat (fig. 3), remarquablement étudié dans ses détails, avait pour objectif principal une particularité assez exceptionnelle, l'emploi de la force musculaire, en sorte qu'il ne peut pas être présenté comme une phase bien précise de l'évolution de l'aéronautique.

L'aérostat à moteur électrique de MM. Tissandier, en 1883 (fig. 4), avait pour principal objet l'emploi de l'électricité comme moteur, sur

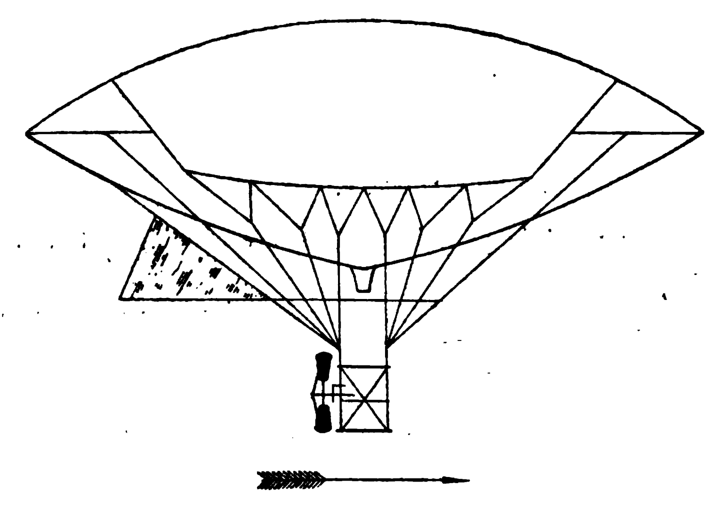


Fig. 4.

lequel nous reviendrons. Il s'est très bien comporté, quoique moins haut de suspension que les aérostats précédents, et sans perche. La substitution au filet d'une *housse* continue à laquelle s'attachaient les cordelettes, déjà réalisée par M. Dupuy de Lôme, était une disposition capitale dont nous verrons l'importance. La housse était fixée latéralement à deux brancards de bois flexibles épousant la forme de l'aérostat selon son équateur horizontal; ces brancards étaient destinés à rendre le même service que la perche.

L'aérostat, que MM. Renard et Krebs ont essayé publiquement pour la première fois le 9 août dernier, s'éloigne notablement des formes précédentes (fig. 5); la nacelle est très proche de l'aérostat et très longue; les cordelettes, partant de la housse, vont presque verticalement se relier à la nacelle, qui semble ainsi fonctionner comme une

sorte de perche. Toutes ces dispositions paraissent très bonnes. Aussi la stabilité de l'appareil semble-t-elle tout à fait satisfaisante.

L'aérostat a la forme d'un cigare, marchant le gros bout en avant. Nous ne nous expliquons les avantages, ni de cette forme ni surtout de cette direction sur lesquelles les inventeurs restent silencieux.

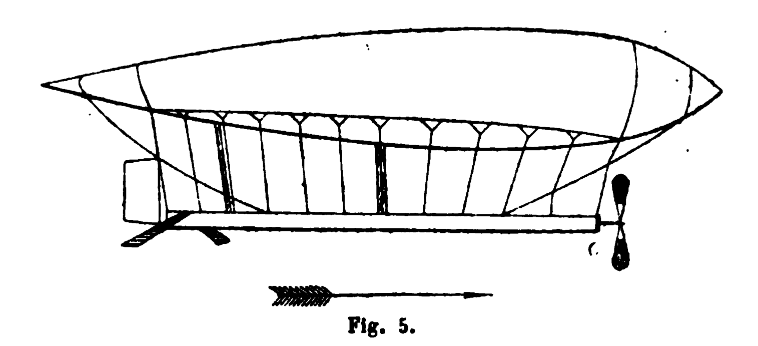


Fig. 5.

Nous reviendrons sur ces aérostats en parlant d'autres considérations que de la stabilité.

On verra plus loin les motifs qui nous paraissent devoir faire effiler le plus possible la forme de l'aérostat à l'avant. L'avant étant ainsi construit, l'arrière n'aurait pas besoin d'être aussi svelte pour atteindre son but, qui est seulement d'empêcher toute contre-pression résistant à la marche. Mais, comme il peut être utile de faire aller l'aérostat dans l'un et l'autre sens, nous penchons pour le fuseau symétrique. Nous ne voyons pas que la forme adoptée par MM. Renard et Krebs doive assurer la fermeté de direction. . . . .

Moteur. — La légèreté du moteur est un élément de grande importance. Le moteur Torneycroft, étudié en vue des torpilleurs, présentait déjà un appareil pratique; il pesait 33 kilogrammes par force de cheval, y compris la chaudière et l'eau. Le générateur du Temple, venu ensuite, est un appareil beaucoup plus léger encore; il ne pèse que 6 kilogrammes par cheval. Par conséquent, en négligeant l'économie, comme il est juste de le faire en ce cas, il paraît permis de compter avec sécurité, pour le poids du moteur à vapeur, 20 kilogrammes au plus par force de cheval, et 10 kilogrammes par cheval et par heure pour approvisionnement de toute sorte.

Mais le moteur à vapeur comporte deux objections graves : le

danger du feu dans le voisinage de l'hydrogène du ballon, et la variation du poids à mesure de la consommation.

Nous ne croyons pas que le feu fût une objection décisive. Giffard l'a employé, en 1852-55, sans accident; et il est facile de concevoir, surtout avec les dispositions les plus récentes (fig. 5), un foyer assez bien isolé pour ne pas rayonner sensiblement vers l'aérostat, et une cheminée horizontale à courant forcé assez longue, pour entraîner toutes les fumées suffisamment loin de l'aérostat.

Mais la variation du poids du moteur à mesure qu'il consomme reste, dans l'état actuel des connaissances, un important défaut; et c'est ce qui fait écarter aussi le moteur à air comprimé, bon d'ailleurs, et le plus léger probablement après l'appareil à vapeur.

Aujourd'hui, le seul moteur sans feu et sans variation sensible de poids en marche, est le moteur électrique bien choisi; aussi, malgré son poids, les aéronautes paraissent-ils n'en pas considérer d'autre.

Voici, d'après M. Tissandier, les meilleures conditions qui soient réalisées aujourd'hui (en nombres ronds) pour le poids des appareils électriques :

Moteur, 40 kilogrammes pour 1,33 chevaux, soit par cheval. 30 kil.
— 80 — pour 3 chevaux, soit par cheval. . . 26k,6
(On comprend que le poids par cheval diminue inversement au nombre de chevaux.)

Pile au bichromate, poids fixe par cheval. . . . . 45 kil.
— éléments renouvelables, par cheval et par heure. . . . . 25 kil.
(Base : 160 kilogrammes pour 100 kilogrammètres pendant 3 heures, dont 60 kilogrammes fixes et 100 kilogrammes renouvelables.)

MM. Renard et Krebs parlent d'un « cheval-heure » de 19k,350. Nous ne voyons pas que les éléments constants et variables puissent être ainsi complètement groupés... Ces messieurs indiquent 98 kilogrammes pour le poids d'une machine de 8,5 chevaux effectifs sur l'arbre; de plus, 435 kilogrammes pour pile et accessoires, correspondant probablement aux 8,5 chevaux pendant quatre heures, ce qui ferait approximativement 17 kilogrammes par cheval pour la partie fixe et 8k,5 par cheval-heure pour la partie variable... En présence de ces incertitudes, et du mystère dont les savants aéronautes restent enveloppés en

dehors de leur communication à l'Académie, nous nous abstiendrons de discuter ces chiffres. — Si ces messieurs ont découvert une pile aussi légère qu'il semble, c'est un très important résultat.

Pour les ascensions ne dépassant pas quelques heures de durée, les accumulateurs ne paraissent pas plus légers ; pour des ascensions plus longues, ils reprendraient l'avantage.

Avec un moteur encore aussi lourd, des ascensions utiles peuvent être faites dès aujourd'hui, ainsi qu'on va le voir. Cependant on gagnerait beaucoup en vitesse avec un moteur plus léger, c'est donc le but vers lequel il faut constamment tendre. De leur côté, les systèmes d'aéronautique « plus lourds que l'air, » dont nous ne parlons pas en ce moment, réclament le moteur le plus léger possible ; mais dans leur cas, le feu et surtout la variation du poids n'importent plus [1].

Ce sont MM. Tissandier qui ont, les premiers, en 1883, appliqué le moteur électrique à l'aéronautique pour un essai en grand. C'est un fait que la science doit enregistrer, et que les perfectionnements ultérieurs ne sauraient obscurcir. On verra tout à l'heure que l'essai de MM. Tissandier, en 1883, était beaucoup plus mûr qu'eux-mêmes ne l'ont cru ; et qu'ils auraient pu atteindre avec le même moteur une vitesse notablement plus grande que celle qu'ils ont obtenue, si la préparation du moteur électrique, ainsi que d'un matériel, tant fixe que mobile, très bien étudié [2], ne les avait détournés de certaines recherches de construction dont nous montrerons l'importance.

Propulseur. — Actuellement, le propulseur généralement admis est l'hélice ; c'est, en effet, à ce qu'il semble, le meilleur connu.

Un point important est la place de l'hélice. On se rend facilement compte que l'hélice placée sur la nacelle, comme dans les appareils que nous venons de figurer, produit, avec la résistance de l'air à l'aérostat, un couple qui tend à faire « relever le nez » à l'aérostat fuselé, ce qui, on le verra par les calculs indiqués plus loin, accroît beaucoup la résistance. Cet effet doit devenir notable dès que la vitesse relative de l'appareil le devient. Les appareils (fig. 1 à 4) sont construits

1. J'ai indiqué ailleurs (*Recherches sur la navigation aérienne*, 1875), que l'oiseau paraissait être un moteur pesant environ 13 kilogrammes par cheval de force, pouvant travailler à peu près six heures de suite.

2. En particulier, l'appareil à produire le gaz hydrogène, dans le système Giffard perfectionné, avec la tournure de fer, peut être regardé comme un modèle. Ce gaz porte 1,180 grammes par mètre cube, tandis que le gaz d'éclairage n'en soulève que 740.

dans des conditions très défectueuses à cet égard, bien que celui de MM. Tissandier soit supérieur aux précédents. L'appareil de MM. Renard et Krebs vaut beaucoup mieux sous ce rapport; et pourtant ces messieurs n'ont pas pu éviter l'action du couple perturbateur; eux-mêmes ont constaté « à plusieurs reprises, pendant la marche, des oscillations de 2 degrés à 3 degrés d'amplitude, analogues au tangage. » Ces oscillations, pensent ces messieurs, « peuvent être attribuées, soit à des irrégularités de forme, soit à des courants d'air locaux dans le sens vertical. » Selon nous, elles résultent plutôt surtout du couple perturbateur.

Pour combattre ce défaut, on peut imaginer divers expédients. Le plus naturel peut-être, dans une longue nacelle comme celle de Chalais (avantageuse d'ailleurs à tous égards), serait de rapprocher de l'hélice le centre de gravité de la nacelle. Il est possible que les savants aéronautes l'aient fait. Cependant, le relèvement n'a pas été suffisamment évité, comme on vient de le voir. D'ailleurs, cette disposition exigerait de faire varier la place du centre de gravité entre le repos et la marche, ce qui serait compliqué.

A notre avis, les procédés de ce genre ne seraient que des demi-mesures, et il ne faudrait pas hésiter à faire coïncider entièrement le centre de propulsion ou de traction de l'hélice avec le centre de résistance de l'aérostat, ou des aérostats s'il y en avait plusieurs conjugués; ce serait le seul moyen de tenir correctement une vitesse utile.

Avec un seul aérostat, cette disposition n'est pas aussi difficile qu'on peut le croire; car il n'y a pas besoin de faire traverser l'aérostat par l'axe de l'hélice, il suffit d'assurer, par une construction extérieure quelconque, que le plan de l'hélice reste normal à l'axe géométrique de l'aérostat fuselé.

Mais il serait probablement plus facile de réaliser la construction dont il s'agit en employant plusieurs aérostats conjugués. Le croquis suivant (fig. 6) donne l'idée de cette construction pour deux aérostats accouplés. Bien que les aérostats soient supposés tangents, ou à peu près, la distance entre eux près de l'arrière, résultant de la forme fuselée, laisse place à une poulie motrice placée sur l'axe de l'hélice. Ce croquis suppose que la courroie motrice s'infléchit sur des rouleaux en entrant dans la nacelle, pour permettre au moteur d'occuper le milieu de celle-ci. Les lignes *tremblées* indiquent quelques-unes des liaisons souples entre les aérostats et la nacelle ; les lignes *noires*, des

liaisons rigides. Mais, pour empêcher la tension de la courroie motrice de rapprocher la nacelle de l'aérostat, si le poids de l'extrémité de celle-ci ne le fait pas, il suffirait probablement d'entourer la courroie,

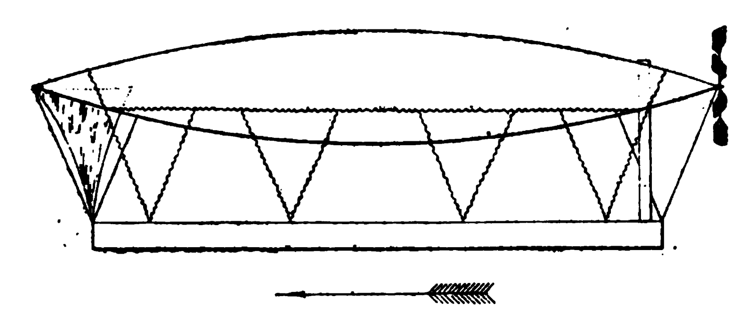
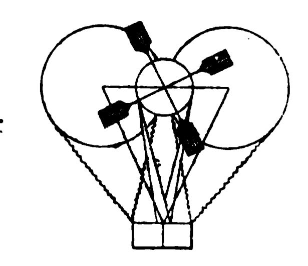


Fig. 6.



entre la nacelle et l'axe de l'hélice, de quelques pièces rigides... — Ce qui précède n'est pas, bien entendu, un projet, mais seulement l'indication générale d'une idée.

La figure 6 suppose comme gouvernail une voile triangulaire, ayant un angle fixé à l'extrémité de la nacelle, l'autre sur l'axe prolongé de l'hélice, le troisième mobile sur une tringle reliant les pointes antérieures des deux aérostats. Dans la même disposition, la voile pourrait être remplacée par un plan rigide. Ce n'est qu'une indication non mûrie. Nous dirons plus loin un mot des gouvernails.

Notons, en passant, que l'emploi de plusieurs aérostats conjugués faciliterait beaucoup une disposition que nous voudrions voir adopter : à savoir, celle d'une voile horizontale supérieure, convenablement établie et formant parachute toujours prêt.

On peut objecter à ce qui précède que si l'aérostat fuselé, en « relevant le nez, » accroît l'angle d'incidence du vent en dessous, ce qui augmente la résistance de l'air, il diminue cet angle en dessus par

conséquent ; et que ces deux effets tendent à se compenser plus ou moins et s'équilibrent même complètement pour certains angles. — Cette objection serait tout à fait vraie pour un aérostat en forme de dièdre ayant son angle normal à la direction du vent. Mais, pour un fuseau qui relève l'avant, la surface « inférieure » augmente un peu et surtout devient de forme beaucoup plus résistante à la translation [1], tandis que la surface « supérieure » diminue beaucoup. En outre, ce relèvement détermine une composante verticale qui fait monter l'aérostat en pure perte. En sorte que le jeu des angles dont il s'agit, vrai seulement dans la section verticale par le grand axe, n'empêche pas le relèvement antérieur d'accroître beaucoup la résistance de translation, même pour de petites variations d'angles.

Un autre point important est la position de l'hélice, à l'avant ou à l'arrière. Presque tous les appareils construits jusqu'ici ont l'hélice à l'arrière ; tels sont ceux indiqués figures 1 à 4 et figure 6. Seule, parmi les exemples que nous venons de citer, l'hélice de MM. Renard et Krebs est placée à l'avant.

Il y a deux choses à dire sur cette disposition :

L'hélice à l'avant peut avoir l'avantage, en *traînant* l'appareil, de faciliter sa bonne tenue dans la direction de la marche ; nous croyons cependant que, avec la disposition contraire, un gouvernail bien conçu et bien manœuvré suffirait à tout. Mais l'hélice à l'avant a l'inconvénient d'accroître la résistance de translation, parce que la condition essentielle de l'hélice est de rendre le fluide derrière elle animé d'une vitesse propre, en sens contraire de la marche, en plus de la vitesse relative qu'il avait avant. Sans doute, cet effet n'a tout son inconvénient que lorsque le centre de traction coïncide avec le centre de résistance ; lorsqu'il en est autrement, comme dans les appareils fig. 1 à 5, le « courant de l'hélice » passe plus ou moins sous l'aérostat et augmente peu la résistance. Mais comme, selon nous, l'aéronautique doit en venir au genre de disposition indiqué figure 6, c'est pour ce cas que la position de l'hélice doit être jugée et il semble qu'alors l'hélice soit beaucoup mieux placée à l'arrière.

Peut-être l'hélice sera-t-elle toujours préférée en aéronautique à cause de la facilité de son emploi ; il ne faut pas cependant oublier

1. Dans la translation avec le grand axe horizontal et parallèle au vent relatif, les sections horizontales dans le sens du vent sont parallèles au grand axe ; mais, à mesure du relèvement, ces sections sont moins aiguës et tendent à devenir des cercles.

qu'elle a un rendement faible, 30 pour 100 au plus ordinairement; aussi serait-il bon de diriger également les recherches vers un propulseur de fort rendement. Si on le trouvait, ce serait un bénéfice net ajouté à celui du moteur léger.

Travail et résistance de translation. — Sur ce point capital, il paraît y avoir parmi les aéronautes des opinions si diverses, qu'il est utile de rappeler ce que nous croyons être les vrais principes.

On admet bien, d'une façon générale, l'avantage de l'aérostat fuselé sur l'aérostat sphérique; le seul instinct, la moindre observation, l'exemple des navires, tout le conseille; mais personne ne semble lui attribuer sa véritable importance.

Ce que l'on admet, c'est que le cube de l'aérostat étant donné comme condition, en vue du poids à enlever, l'aérostat fuselé vaut mieux que le sphérique, parce que son grand cercle ou maître-bau est moindre que le grand cercle de la sphère, et que la résistance de translation est, croit-on, sensiblement proportionnelle à ces grands cercles. On allonge l'aérostat pour diminuer son grand cercle; mais, cela fait, on n'attache pas grande importance au rapport de ses axes et à sa forme précise.

Du moins, cette manière de voir paraît résulter des formes ou dispositions singulièrement défectueuses adoptées jusqu'ici; c'est ainsi que MM. Dupuy de Lôme et Tissandier ont choisi des fuseaux très obtus, et que MM. Renard et Krebs font marcher leur aérostat le gros bout en avant.

Nous allons montrer que, pour un même grand cercle, le rapport des axes du fuseau a une importance considérable. — Nous ne parlerons que des aérostats en fuseaux, c'est-à-dire ceux dont la section par le grand axe est formée de deux segments circulaires égaux; sans préjuger des qualités que d'autres sections que nous n'avons pas encore étudiées pourraient avoir.

Nous avons établi ailleurs [1] que le travail de translation à l'avant d'une surface plane assez petite, était proportionnel au cube du sinus de l'angle d'incidence du vent relatif.

$$T = p_n . v . S . \sin^3 \alpha :$$

1. *Recherches sur la navigation aérienne*, Baudry, 1875; *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, 1875, p. 104.

T, travail de translation;

p_n, pression de l'air normalement à la direction;

v, vitesse relative de translation;

S, surface considérée;

α, angle d'incidence du vent relatif sur cette surface; c'est ordinairement l'angle de la surface avec sa trajectoire.

Si l'on considère le travail de translation d'un ensemble de petites surfaces ds, la formule précédente devient :

$$T = p_n . v . \int ds \sin^3 \alpha,$$

moyennant que les petites surfaces élémentaires soient disposées de façon que le vent reçu par chacune n'aille pas changer la pression sur les autres.

Dans le cas d'un fuseau, ayant le vent relatif dans la direction de son grand axe (dont nous ne considérons que la moitié antérieure, la moitié postérieure n'agissant dans ce cas que pour empêcher toute contre-pression), les surfaces élémentaires ne sont pas sans action l'une sur l'autre; le vent dévié glissant le long de la surface a pour effet d'augmenter l'angle d'incidence dans le voisinage du maître-bau ou grand cercle; de plus, ainsi que l'a observé M. Athanase Dupré, ce courant dévié diminue la pression près du grand cercle. Ces deux effets, encore mal connus, sont de nature à se compenser plus ou moins; en sorte que nous les négligerons dans les aperçus théoriques suivants, et nous croyons que cette simplification approximative a pour effet d'exagérer le travail réel, ce qui place l'erreur du côté prudent.

Si maintenant l'on remarque qu'une zone du demi-fuseau, projetée sur le grand cercle, a pour expression, toujours dans le cas considéré,

$$ds . \sin \alpha = 2 \pi r . dr,$$

en nommant r un rayon intermédiaire du grand cercle dont le rayon maximum est R, la formule précédente devient :

$$T = v . p_n . 2 \pi \int_0^R r \, dr . \sin^2 \alpha.$$

Si, toujours dans le cas où le vent relatif est parallèle au grand axe,

on prend directement, sur le profil du demi-fuseau, la valeur de $\sin^2 \alpha$, soit en fonction du rayon de courbure n R, soit en fonction du demi-grand axe k R, l'expression précédente deviendra :

$$T = v.\, p_n.\, 2\pi \int_0^R r\,dr\, \frac{\left[n\,R\right]^2 - \left[(n-1)\,R + r\right]^2}{\left[n\,R\right]^2}$$

ou bien

$$T = v.\, p_n.\, 2\pi \int_0^R r\,dr\, \frac{\left(\frac{k^2+1}{2}\,R\right)^2 - \left[\left(\frac{k^2+1}{2} - 1\right)R + r\right]^2}{\left(\frac{k^2+1}{2}\,R\right)^2},$$

$$\text{car } n = \frac{k^2+1}{2}.$$

Si l'on intègre ces expressions, une fois pour toutes, il vient enfin :

$$T = v.\, p_n.\, 2\pi.\, R^2 \left(\frac{1}{3\,n} - \frac{1}{12\,n^2}\right)$$

$$T = v.\, p_n.\, 2\pi.\, R^2 \left(\frac{2}{3(k^2+1)} - \frac{1}{3\,(k^2+1)^2}\right)$$

Avec cette formule, on peut calculer aisément le travail de translation d'un aérostat fuselé, marchant parallèlement à son grand axe et au vent. Cette formule suppose la surface très lisse, et laisse à calculer à part les résistances des cordages, de la nacelle, etc.; c'est le travail du fuseau seul. Avec une nacelle bien effilée et bien lisse, ces résistances accessoires doivent être peu importantes relativement ; du moins nous les laisserons de côté dans ce qui suit, ne nous proposant en ce moment qu'une indication générale et non pas une étude d'exécution.

Si l'on désire comparer entre eux, à l'aide de leurs travaux de translation, divers aérostats fuselés ayant mêmes grands cercles et placés dans les mêmes conditions, et ne différant que par leur forme plus ou moins allongée, il suffira de calculer la quantité entre parenthèses de l'une des formules précédentes. Prenant, par exemple, le rapport des axes k, on obtiendra :

Pour $k = 1$, $\frac{T}{v.p_n} = \pi R^2 \left(\frac{4}{3(k^2+1)} - \frac{2}{3(k^2+1)^2} \right) = \pi R^2 . \; 0{,}50$

— = 2,	»	= —.	0,24
— = 3,	»	= —.	0,12,6
— = 4,	»	= —.	0,07,6
— = 5,	»	= —.	0,05
— = 6,	»	= —.	0,03,5
— = 7,	»	= —.	0,02,6
— = 8,	»	= —.	0,02
— = 9,	»	= —.	0,01,6
— = 10,	»	= —.	0,01,3

Ces coefficients numériques sont le rapport du travail de translation du fuseau à celui de son grand cercle pris pour unité.

On voit par ce tableau que la forme plus ou moins effilée de l'aérostat est de grande importance.

Si, pour comparer approximativement la valeur aéronautique des divers aérostats dont nous avons donné le croquis, on suppose à tous même grand cercle, sans altérer en rien leurs proportions, et que l'on prenne en nombres ronds les rapports de leurs axes, il viendra :

AÉROSTATS.			
Giffard, 1852	$k = 4$	Nombre proportionnel au travail de translation du fuseau.	0,076
— 1855	= 6		0,035
Dupuy de Lôme	= 2,333		0,18 (approximativement.)
Tissandier	= 3		0,12
Renard et Krebs, gros bout..	= 3		0,12
— petit bout.	= 8		0,02

Ces coefficients représentent la proportion de travail exigé, à la même vitesse, par ces diverses formes d'aérostats.

Pour comparer les vitesses que pourraient prendre, selon leurs formes, des aérostats de même grand cercle disposant d'un même travail propulseur, il faut rappeler que l'on a sensiblement la relation suivante entre les vitesses et les pressions de l'air normalement à sa direction $\frac{p_n}{p'_n} = \frac{v^2}{v'^2}$. Il en résulte que, le travail restant le même entre deux cas considérés, on aura, en nommant c, c'... l'un des coefficients calculés plus haut ·

$$\frac{T}{\pi R^2} = v . p_u . c = v' . p_u' . c' = v' . p_u . \frac{v'^2}{v^2} . c'$$

$$v' = v . \sqrt[3]{\frac{c}{c'}} .$$

D'ailleurs, d'après des documents publiés, les vitesses obtenues par les divers aéronautes dont nous parlons auraient été :

par MM. H. Giffard, 1852	Vitesse	=	$3^m,00$
» 1855	»	=	$4^m,00$ (approximativ[t].)
Dupuy de Lôme	»	=	$2^m,80$
Tissandier, 1883 . . .	»	=	$3^m,00$
Renard et Krebs. . . .	»	=	$5^m,50$
Tissandier, 1884 . . .	»	=	$4^m,00$

On peut déduire de qui précède :

1° Si l'aérostat de Giffard, en 1852, avait eu la forme de celui de 1855, la vitesse obtenue aurait été :

$$v' = 3 \sqrt[3]{\frac{76}{35}} = 3 . 1,295 = 3^m,88,$$

au lieu de $3^m,00$.

Avec la forme du petit bout de l'aérostat de Chalais-Meudon, la vitesse eût été :

$$v' = 3 \sqrt[3]{\frac{76}{20}} = 3 . 1,56 = 4^m,68 \text{ au lieu de } 3^m,00.$$

La vitesse en 1855 n'a pas été rapportée assez sûrement pour que nous nous arrêtions à lui appliquer le calcul précédent.

2° Si l'aérostat de M. Dupuy de Lôme avait eu la forme de celui de Giffard en 1855, il aurait obtenu la vitesse de :

$$v' = 2,80 \sqrt[3]{\frac{180}{35}} = 2,80 . 1,726 = 4^m,83 \text{ au lieu de } 2^m,80.$$

Avec la forme du petit bout de l'aérostat de Chalais, la vitesse eût été :

$$v = 2,80 \sqrt[3]{\frac{18}{2}} = 2,80 . 2,08 = 5^m,82 \text{ au lieu de } 2,80.$$

3° Si MM. Tissandier avaient, toutes choses égales d'ailleurs, adopté la forme du fuseau de Giffard en 1855, ils auraient obtenu pour vitesse,

en 1883, $v' = 3^m,00 \sqrt[3]{\frac{120}{35}} = 3,00 \ . \ 1,5 = 4^m,50$ au lieu de $3^m,00$;

en 1884, v'. . . . . $= 4,00 \ . \ 1,5 = 6^m,00$ au lieu de $4^m,00$.

4° Si la forme avait été celle du petit bout de l'aérostat de Chalais, les vitesses eussent été,

en 1883, $v' = 3. \sqrt[3]{\frac{12}{2}} = 3. \ 1,815 = 5^m,44$ au lieu de $3^m,00$;

en 1884, v' . . . . . . $= 4. \ 1,815 = 7^m,26$ au lieu de $4^m,00$.

5° Si MM. Renard et Krebs, avec le même moteur, faisaient marcher leur aérostat le petit bout en avant, ils obtiendraient une vitesse de

$$v' = 5,50 \sqrt[3]{6} = 5,50. \ 1,815 = 9^m,98 \text{ au lieu de } 5^m,50.$$

Nous pourrions ajouter que cette vitesse serait plus grande si l'hélice était mieux placée; mais nous n'insisterons pas sur ce point à cause des compensations qu'il comporte, dont nous avons parlé.

On voit aussi par ces comparaisons l'importance d'avoir le plus de force possible.

Les calculs précédents supposent, on le comprend, que l'aérostat augmentant de vitesse par suite d'une meilleure forme, maintient cependant toujours son grand axe parallèle à sa trajectoire. Il n'en serait ainsi en pratique probablement qu'avec des dispositions d'appareils convenables.

Nous allons calculer, par nos formules, le travail de translation de divers aérostats.

1° Aérostat de MM. Renard et Krebs, *le gros bout en avant*: — La résistance normale de l'air, à 10^m de vitesse, étant 13^k par m. q., la résistance à $5^m,50$ est $x = 13^k \frac{5,5^2}{100} = 3^k,93$. Le diamètre du grand

cercle étant $8^{m},40$, ce qui donne une surface du cercle de $55^{mq},3896$, il vient

$$T = 55^{mq},3896.\ 3^{k},93.\ 5^{m},50.\ 0,126 = 150^{kgm},85.$$

MM. Renard et Krebs, partant du travail dépensé aux bornes de la machine, évaluent le travail résistant à 125 kgm. En présence de l'incertitude qui existe encore sur quelques-uns des chiffres de ces messieurs, nous pouvons regarder ces résultats comme concordants.

2° Le même aérostat, *le petit bout en avant.* — Dans ce cas, le travail nécessaire pour la translation à $5^{m},50$ ne serait plus que

$$T = 55^{m},4.\ 3^{k},93.\ 5^{m},5.\ 0,02 = 23,^{kgm}95.$$

3° Essai de MM. Tissandier, en 1883, d'après les mêmes éléments: A la vitesse de 3^{m}, la pression normale est $13^{k}.\ \frac{9}{100} = 1^{k},17$. Le diamètre du grand cercle étant $9^{m},20$, sa surface est $66^{mq},44$, et on a pour le travail

$$T = 66^{mq},44.\ 1^{k},17.\ 3^{m},00.\ 0,126 = 29^{kgm},38.$$

D'après nos recherches personnelles, 30 pour 100 serait assez généralement le rendement d'une hélice ordinaire; le travail ci-dessus correspondrait donc bien au travail de 100 kgm., mesurés au frein sur l'arbre de couche, que donnait l'appareil de MM. Tissandier.

4° Essai de MM. Tissandier du 26 septembre 1884. — A la vitesse de 4^{m}, la pression normale de l'air est $13^{k}.\ \frac{16}{100} = 2^{k},08$, en sorte que le travail serait $T = 66^{mq},44.\ 2^{k},08.\ 4^{m},00.\ 0,126 = 69^{kgm},32$.

MM. Tissandier, dans cette expérience, évaluent le travail sur l'axe à 1,5 cheval, par suite des conditions particulièrement favorables dans lesquelles ils avaient placé leur pile ; sur l'hélice même, cela laisserait 50 kgm.

Si l'on remarque que les rapports d'axes adoptés par nous dans les calculs précédents sont seulement approximatifs ou mesurés sur des dessins ; que nous ne considérons que les fuseaux ; que l'observation pratique des vitesses n'est pas toujours facile ; que le rendement de

l'hélice est mal connu et varie avec les vitesses, etc.; il paraîtra que les travaux calculés ci-dessus concordent avec les observations d'une manière satisfaisante, et que notre procédé de calcul du travail de translation présente une exactitude suffisante, au moins pour évaluer le moteur nécessaire à une forme et à une vitesse données.

Il peut être intéressant de présenter les résultats précédents sous une forme synoptique :

AÉROSTATS.	RAPPORT des axes		Coefficient	VITESSE			TRAVAIL	
	réel.	supposé	de résistance.	obtenue.	possible.	supposée.	mesuré ou évalué.	calculé par formule.
	1	2	3	4	5	6	7	8
				m.	m.	m.	kgm.	kgm.
Giffard, 1852.....	4	»	0,076	3,00	»	»	»	»
— —	»	6	0,035	»	3,88	»	»	»
— —	»	8	0,02	»	4,68	»	»	»
— 1855.....	6	»	0,035	4,00	»	»	»	»
Dupuy de Lôme 1871	2,33	»	0,18	2,80	»	»	»	»
— —	»	6	0,035	»	4,83	»	»	»
— —	»	8	0,02	»	5,82	»	»	»
Tissandier, 1883..	3	»	0,12	3,00	»	»	30	30
— —	»	6	0,035	»	4,50	»	»	»
— —	»	8	0,02	»	5,44	»	»	»
— 1884...	3	»	0,12	4,00	»	»	50	69
— —	»	6	0,035	»	6,00	»	»	»
— —	»	8	0,02	»	7,26	»	»	»
Renard et Krebs, 1884.	3	»	0,12	5,50	»	»	125	151
— —	8	»	0,02	»	9,98	»	»	»
— —	8	»	0,02	»	»	5,50	»	24

Les chiffres des colonnes 3, 5, 8, résultent des formules données ci-dessus ; la vitesse « supposée » est celle admise hypothétiquement afin de déduire le travail correspondant.

Forme générale, façons arrière, nacelle. — On a vu quelle est la forme principale conseillée pour une moindre résistance.

MM. Renard et Krebs n'ont pas expliqué quel motif leur faisait adopter la forme en cigare, le gros bout devant. On a supposé que c'était pour assurer la direction ; on a dit que, avec l'avant plus obtus que l'arrière, « la pression de l'air à l'avant déformait moins la pointe que dans les ballons à avant très aigu. » Cette dernière explication surtout nous semble peu vraisemblable et nous attendrons pour l'ad-

mettre des expériences bien nettes. — A-t-on voulu prendre la forme du poisson pour modèle?... Ce serait avoir peu étudié la nature de ne pas reconnaître que ses exemples, variés comme par jeu, se contredisent souvent, de sorte que l'homme ne doit pas les copier sans y appliquer l'étude.

La forme généralement adoptée est celle de fuseau symétrique; nous la croyons préférable. L'arrière, dont la forme n'a d'autre objet que d'annuler les remous, n'aurait pas besoin d'être aussi aigu que l'avant; mais la forme symétrique, plus facile pour la construction probablement, a surtout l'avantage de permettre une marche égale dans les deux sens. Peut-être est-il bon, dans ce but, de faire l'hélice à 45°, bien que ça ne soit pas l'angle du plus grand effet? On n'aurait plus alors qu'à changer le sens de rotation de l'hélice pour avancer dans l'un ou l'autre sens.

Ce qui précède se rapporte aux appareils assez petits. Pour de plus grands, il pourrait y avoir avantage à faire une partie cylindrique reliant deux demi-fuseaux le plus effilés possible... Mais nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails.

Peut-être est-ce le lieu de noter l'avantage pratique des grands appareils. Certaines parties de la charge sont constantes, plusieurs n'augmentent pas proportionnellement au cube de l'aérostat, par exemple, le poids du moteur, et aussi celui de l'étoffe moyennant que la forme se modifie convenablement avec le cube[1]. L'accroissement de l'appareil rend donc le moteur comparativement plus léger.

La nacelle très longue, très effilée, recouverte d'une étoffe très lisse, comme celle de Chalais-Meudon, nous paraît la meilleure, tant comme clipper, que comme permettant une bonne attache à la housse de l'aérostat.

Filet, housse. — Ce que nous avons dit sur l'avantage des formes effilées montre la grande importance d'avoir la surface de l'aérostat très lisse. Le filet classique, avec ses cordes rondes et ses nœuds, augmenterait beaucoup la résistance de l'aérostat le plus effilé; peut-

1. C'est l'exigence de solidité qui complique le poids de l'étoffe. Pour les aérostats de figures semblables, le poids de l'étoffe varie sensiblement comme le cube, si l'épaisseur de l'étoffe croît comme sa résistance. Si, le cube variant, le grand cercle reste constant, le poids de l'étoffe varie comme la surface de l'aérostat... En général, le poids de l'étoffe est fonction de son étendue et du rayon du grand cercle.

être irait-il jusqu'à lui donner la résistance de la sphère, ou même du grand cercle. Aussi, les aérostats de 1871, 1883 et 1884 ont-ils, avec grande raison, remplacé le filet par une housse continue, aussi lisse que l'étoffe même de l'aérostat. — On ne saurait apporter trop de soin à réaliser des surfaces lisses... Peut-être serait-il bon de former l'aérostat de telle sorte que les cordelettes ou bandes de suspension en sortissent aux points voulus, par une sorte de tissage, sans housse distincte ?

Giffard avait indiqué dans un brevet, sans pouvoir encore l'exécuter, non seulement la substitution de la housse au filet, mais l'emploi de sangles plates parallèles au vent au lieu des cordelettes.

Maintien de la forme, conservation du gaz, lest. — On comprend l'importance qu'il y a, tant pour la vitesse que pour la stabilité, à maintenir suffisamment exacte la forme calculée de l'aérostat. Le changement d'altitude et les modifications atmosphériques tendent à faire varier la forme en augmentant ou diminuant la tension du gaz. Il faut donc assurer cette tension, et aussi éviter l'excès de pression.

On maintient la forme de l'aérostat malgré la dépression du gaz au moyen du ballonnet intérieur plein d'air qu'un ventilateur alimente, indiqué par le général Meunier et appliqué en 1871 par M. Dupuy de Lôme. Au cas contraire d'une tension trop forte, l'excès de gaz s'écoule par l'appendice.

Il nous semble aujourd'hui possible d'éviter toute perte de gaz ; ce serait important surtout pour les ascensions de longue durée ; et puisque l'on sait faire des étoffes qui ne perdent aucun gaz pendant trois mois, il ne s'agirait que de recueillir l'excès de gaz. De plus, l'abandon du gaz pour la descente est toujours un procédé dangereux ; c'est ce que Giffard a éprouvé en 1855.

Ne pourrait-on pas faire communiquer l'appendice avec un ou plusieurs récipients souples, qui d'ordinaire reposeraient vides et dégonflés au fond de la nacelle, et recevraient au besoin l'excès de gaz de l'aérostat ? Cet ensemble de vases communiquants serait hermétiquement clos. Lorsque la tension diminuerait dans l'aérostat, le simple poids de la paroi souple des récipients auxiliaires suffirait pour lui restituer son gaz.

Prendre du lest et en jeter n'est conciliable qu'avec les ascensions

de peu de durée; dès maintenant il serait désirable de s'en affranchir. Nous ne savons pas que l'on ait rien proposé en ce sens; voici ce qui serait peut-être possible.

Dans l'aéronautique proprement dite, on n'a pas à s'élever très haut; il suffit de quelque cent mètres pour éviter les obstacles. Pour cette hauteur, une faible force ascensionnelle suffit, peut-être 10 kilog. pour les appareils dont il a été question plus haut. Ne pourrait-on pas obtenir ce poids avec de l'air comprimé? Un récipient de forme et matière convenables, souple peut-être, de 1 ou 2 mètres de capacité, tapisserait les parois intérieures de la nacelle, ou occuperait ses extrémités ou une autre place; une pompe permettrait d'y comprimer de l'air, jusqu'à 10 atmosphères, par exemple... Ce lest suffirait probablement aux appareils dont nous avons parlé.

On pourrait aussi comprimer pareillement du gaz soutiré à l'aérostat; et ce mode serait peut-être le meilleur à cause de son double effet, bien que, par lui-même, l'air soit un meilleur lest que l'hydrogène.

Gouvernail.— Le gouvernail, seul agent de direction des appareils dont nous avons parlé, a par conséquent une importance considérable. Peut-être trouvera-t-on comme nous, en examinant les gouvernails (fig. 1, 3, 4 et 5), qu'ils semblent de faible proportion et médiocrement placés? Le gouvernail fig. 5 est de surface rigide et légèrement biconvexe; nous ne voyons pas bien le motif de cette disposition, à moins qu'elle ne soit pour assurer la ridigité. Le gouvernail fig. 2 paraît meilleur; il touche l'aérostat et se prolonge jusqu'à sa pointe. Nous pensons que les gouvernails devraient être grands, appliqués immédiatement aux aérostats et en atteignant au moins l'extrémité.

Dans l'expérience de 1883, l'appareil de MM. Tissandier n'a pas très bien gouverné, ce dont nous ne sommes pas surpris; par contre, un gouvernail nouveau, essayé par ces messieurs le 26 septembre dernier, a donné de très bons résultats.

Voici quelle était sa disposition : de même taille, à peu près, que le gouvernail de 1883, il dépassait l'arrière de l'aérostat d'une partie de sa surface, s'articulant par une charnière peu oblique à une surface triangulaire fixe, constituant une sorte de quille, dont un côté était horizontal et l'autre sensiblement tangent à l'aérostat en dessous, selon sa grande section verticale. L'ensemble de cette disposition est logique.

L'aérostat de Chalais-Meudon porte, à l'arrière de la nacelle, près du gouvernail, deux appendices ressemblant à des rames et placés à peu près comme elles... Les inventeurs n'en ont pas expliqué l'usage.

En résumé, l'aéronautique nous paraît aujourd'hui plus près du but qu'aucun des savants qui s'en occupent ne semble le penser. Nous avons cherché à montrer les motifs de cette opinion et ce qu'il y aurait à faire... Les efforts doivent tendre surtout à perfectionner les formes et dispositions principales ; à trouver un moteur de plus en plus léger, constant dans son poids et de maniement commode ; enfin, à améliorer le rendement du propulseur.

Dès maintenant, avec une bonne étude de construction, à l'aide seulement des expériences faites et de la science acquise, on pourrait construire un appareil stable, gouvernant bien et marchant à 10 mètres environ de vitesse relative.

NOTICE

SUR

EUGÈNE BOURDON

PAR M. **HENRI TRESCA.**

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

La mort imprévue de M. Eugène Bourdon n'a été connue que d'un petit nombre d'entre nous, la plupart même étaient absents de Paris au moment de ses funérailles, et je ne saurais mieux exprimer le regret d'avoir été moi-même empêché, pour la même cause d'absence, qu'en vous demandant la permission de vous rappeler les services rendus par cet homme de bien, dont l'activité pour les progrès des arts mécaniques n'a pas un instant cessé depuis cinquante ans; quoique de constitution peu robuste en apparence, il ne craignait pas d'expérimenter personnellement ses appareils, et c'est au moment où il étudiait encore la marche de son nouvel anémomètre qu'il fit, le 29 septembre, la chute qui devait lui être fatale.

Le grand âge de M. Bourdon (il était né, à Paris, le 8 avril 1808), sa longue participation aux développements des arts mécaniques, ses inventions nombreuses, dont quelques-unes d'un grand éclat, l'extrême droiture de son caractère et son aménité constante lui assuraient le respect de tous.

Ce n'est qu'à son retour de Nuremberg, où il avait séjourné deux ans pour apprendre la langue allemande, qu'il pensa à s'adonner à la mécanique, d'abord dans les ateliers de l'opticien Jecker, puis, en 1832, et, comme volontaire, dans ceux du premier des Calla.

Cette même année il fonda, rue de Vendôme, un petit établissement, qu'il transféra trois années plus tard au faubourg du Temple,

où il se trouve encore aujourd'hui et, où il s'est successivement agrandi.

On voit ainsi que M. Bourdon, loin d'être préparé par les longues études qui nous sont aujourd'hui si faciles, était plutôt un mécanicien de sentiment comme l'ont été les Cavé, les Pihet, les Joly, les Farcot et les Laborde; mais il avait cependant acquis, comme ces deux derniers, certaines connaissances générales qui lui sont grandement venues en aide. Initié chez Jecker aux difficultés de la petite mécanique, M. Bourdon n'aura pas toute la hardiesse de ses émules; il ne se jettera pas dans les plus grandes entreprises, et il restera pour notre génération comme le Cavé de la mécanique de précision.

Si jusqu'en 1849 il a confectionné des machines de dimensions moyennes, on le voit se complaire ensuite à des objets de moindre apparence, mais tous choisis, quant à l'importance de leurs applications, avec un discernement d'une étonnante sûreté.

Il est déjà devenu bien difficile d'acquérir une notion exacte de ce qu'était, il y a un demi-siècle, la vraie situation de la machine à vapeur dans l'industrie parisienne. Sans doute il en existait quelques-unes que l'on citait avec raison, mais on pouvait citer aussi, car ils étaient en petit nombre, ceux qui les comprenaient et qui les exécutaient suivant les règles. M. Bourdon fut un des premiers à les bien faire connaître, et le modèle en verre qu'il présenta, en 1832, à la Société d'encouragement et qui lui valut sa première médaille d'argent fut, pour cette époque encore, une sorte de révélation. C'est surtout sur les appareils accessoires de la machine à vapeur que la sagacité de M. Bourdon s'est exercée, et ses travaux incessants, couronnés à l'Exposition de 1849 d'une médaille d'or, en 1851 de la décoration de la Légion d'honneur, peu prodiguée alors aux industriels, l'ont porté bien vite à une réputation méritée; on peut estimer à 200 environ le nombre des machines à vapeur qu'il a construites, et elles représentent seulement une puissance totale de 3,000 chevaux environ.

Mais à côté de cette production principale de machines toujours irréprochables, il est presque impossible d'indiquer tous les objets particuliers, et particulièrement utiles, dont la nomenclature se trouve à chaque page dans le *Recueil des brevets d'invention :* en 1837, la pompe alimentaire sans soupape; en 1839, un nouvel indicateur de niveau, avec sifflet de sûreté, pour les chaudières à vapeur; en 1848,

l'application d'un jet de vapeur aux machines fixes, comme aux locomotives et aux bateaux; en 1849, un système de manomètre sans mercure, dit *manomètre métallique*, applicable aux baromètres, thermomètres, etc., nous initient déjà à la seconde manière de M. Bourdon. Il s'est désormais consacré plus spécialement à la construction des manomètres métalliques qui portent définitivement son nom et que nous retrouvons encore : en 1855, dans les applications des tubes métalliques à sections non circulaires; en 1856, sous forme d'une addition à un brevet Charton et Velut, dont M. Bourdon avait fait l'acquisition; et jusqu'en 1869, pour l'emploi si fécond des doubles tubes à la confection des manomètres pour presses hydrauliques. On ne rencontrerait nulle part ailleurs un pareil soin de tous les détails, une pareille conscience dans la vérification de chacun des instruments livrés à l'industrie, une pareille perfection dans les indications obtenues. La fortune a sanctionné l'œuvre du constructeur, et ce n'était vraiment que stricte justice. M. Bourdon a d'ailleurs tiré un excellent parti de ses tubes à section elliptique à la construction d'un indicateur pour machines à vapeur, destination à laquelle il paraît avoir encore mieux réussi avec un tube contourné en hélice.

Dans des directions diverses, nous devons encore citer comme inventions de M. Bourdon : sa valve ou robinet en cuir, pour le débit des fluides (1867), ses paliers à graissage automatique au moyen d'une rondelle qui remonte l'huile (1856), ses ventilateurs à siphon et autres (1855), l'emploi de la fraise pour le travail de certaines surfaces que l'on ne pouvait exécuter avec le tour (1866), son horloge atmosphérique (1867).

Observateur minutieux et attentif, il ne négligeait aucune question de détail, et c'est ainsi qu'il fut amené à la fabrication des épingles de toilette, à tige ondulée, par suite du bon usage auquel avait donné lieu une épingle un peu pliée par hasard.

On doit aussi à M. Bourdon un système particulier de monte-charge à parachute, dont il a installé un certain nombre d'exemplaires.

A titre de parfaite exécution, le Conservatoire des arts et métiers possède plusieurs beaux modèles construits par M. Bourdon.

La question qui a le plus préoccupé M. Bourdon, et qui n'a pas laissé que d'apporter quelque chagrin dans son existence est celle de l'utilisation des tubes coniques. Son premier brevet de 1857 a pour titre :

Perfectionnements et application des tubes à cônes divergents pour transformer la vitesse des courants d'air, de vapeur, d'eau et d'autres fluides et pour activer le tirage des cheminées.

Il faut d'ailleurs le remarquer, le brevet de 1848 et la machine qui devait, à cette date, prendre part au concours de la Société d'encouragement utilisait déjà la propriété de la succion par cônes, en même temps que la distribution par came extérieure et un nouveau système de piston.

C'était la première application industrielle du phénomène de Venturi à l'élévation des liquides, mais il était réservé à Giffard d'utiliser bientôt le même principe à l'alimentation même des chaudières à vapeur; ses droits à ce sujet étaient incontestables. Comment donc a-t-il été possible que des esprits aussi élevés n'aient pu s'accorder sur la part assurément sérieuse qui leur revenait à chacun en cette matière?

Quoi qu'il en soit, M. Bourdon ne discontinua pas ses recherches sur les applications de cet ordre, ainsi que le constatent les trois brevets suivants :

1866. Perfectionnement aux machines à élever l'eau et notamment pour l'application à ces machines d'un tube extracteur d'air par succion.

1869. Condenseurs ou appareils à faire le vide comportant des nouvelles applications des tubes à succion d'air.

1877. Perfectionnements apportés aux pompes par l'application des tubes divergents et convergents-divergents.

L'anémomètre qu'il a construit sur le même principe et qui a fait l'objet d'un rapport laudatif à la Société d'encouragement comble certainement une lacune importante, en ce qu'il permet de mesurer les plus faibles courants d'air, pour lesquels nous n'avions jusqu'ici aucun moyen d'appréciation. En dernier lieu, il voulait avec un instrument analogue mesurer la résistance du vent, à la marche d'un train de chemin de fer, par de simples observations anémométriques. C'est en les exécutant avec notre collègue M. Noyer, qu'il a abandonné la poignée du wagon dont il descendait. On ne sait pas au juste si ce défaut de précaution doit être attribué, comme il y a lieu de le croire, à un étourdissement préalable, ou si le choc reçu dans la chute a véritablement déterminé la mort qui l'a suivie.

Messieurs, à mesure que je vous parle, une pensée supérieure

m'envahit et je ne vois vraiment pourquoi je ne l'exprimerais pas devant vous. M. Bourdon, comme chef de famille, était un véritable patriarche qui sera vivement pleuré par les siens ; pour ceux qui l'approchaient de plus près, c'était un ami sûr, un cœur généreux ; nous l'avons vu quelquefois commander des objets dont il n'avait nul besoin, uniquement pour cacher un bienfait qu'il savait nécessaire. Il a donc vécu d'une vie heureuse, et sa mort qui fait naître en nous de sincères regrets, sa mort n'a-t-elle pas été heureuse entre toutes, puisqu'elle l'a surpris au milieu même de ses travaux, dans la satisfaction de la poursuite d'une dernière invention ?

Sans doute, s'il avait été consulté, il aurait préféré une mort un peu plus lente au milieu des siens, et des consolations plus prolongées de la religion ; mais quel est celui d'entre nous qui ne se féliciterait de pouvoir compter sur une aussi longue carrière, aussi honorée, aussi heureuse, interrompue seulement par le passage dans un autre monde, où toutes les vertus comme tous les mérites doivent trouver leur récompense ? M. Bourdon nous laisse un bien bel exemple à suivre ; heureux ceux qui, comme lui, auront pu toujours s'adonner patiemment à leurs recherches favorites et s'éteindre dans le doux contentement d'eux-mêmes.

L'œuvre de M. Bourdon sera continuée, dans des voies différentes, par ses deux fils. Nous nous étonnions, le mois dernier, d'avoir à présider, avec son concours, le jury de mécanique de l'Exposition de Rouen ; mais, il faut bien le dire, ce qui le préoccupait le plus ce n'était pas de conduire les discussions, c'était d'initier ses deux petits-fils à la compréhension des machines. Je le rencontrai plus tard au congrès de Blois, où il leur servait encore d'instructeur en toutes choses. Pour eux tous et pour sa respectable veuve, si connue par sa bienfaisance et qui, depuis 1837, n'a cessé de lui prodiguer les soins les plus affectueux, la mort de M. Bourdon est un malheur qui appelle tout notre respect et toutes nos sympathies. Pour nous, c'est une occasion de le connaître mieux et de l'estimer davantage.

CHRONIQUE

Sommaire. — Chaudières et machines à vapeur à l'Exposition de Turin. — Touage sur le Volga. — Le métal Delta. — Chemin de fer à crémaillère. — Walter R. Browne. — Le pont d'Henderson. — Appareil homolographique de MM. Peaucellier et Wagner.

Chaudières et machines à vapeur à l'exposition de Turin. — Le *Journal of the Society of Arts* a publié récemment une intéressante notice de M. P. Le Neve Foster sur les machines et chaudières de l'exposition de Turin. Nous croyons devoir en donner la traduction *in extenso*.

L'Exposition nationale italienne à Turin présente une remarquable réunion de machines et chaudières à vapeur qui permet d'apprécier les progrès que l'Italie a réalisés depuis vingt-cinq ans dans l'industrie de la construction mécanique. On a longtemps cru que ce pays était incapable de lutter sous ce rapport avec les autres nations, mais, actuellement, les choses ont bien changé et, si l'Angleterre ne peut voir encore un danger nouveau de concurrence au point de vue de l'exportation, elle aura du moins à faire de grands efforts pour continuer à fournir des machines en Italie. L'importation des produits anglais de ce genre y a considérablement diminué depuis quelques années et, en présence de l'ardeur apportée par les Italiens au développement de l'industrie mécanique, on peut croire qu'avant peu leur pays pourra s'affranchir complètement de la dépendance où il se trouvait, jusqu'ici, des autres nations.

En 1861, à la première exposition nationale à Florence, il y avait sept machines à vapeur dont la plus forte, celle de MM. Ansaldo, était de 32 chevaux. A l'Exposition de Milan, le moteur le plus puissant était une machine de 150 chevaux, exposée par la « Societa Veneta di costruzione mecchaniche, » tandis qu'à l'exposition de Turin, certaines machines ont des puissances nominales de 200 à 250 chevaux et que la belle machine de MM. Neville et Cie, qui actionne les machines de l'éclairage électrique des jardins, a accusé une puissance de 310 chevaux sur les diagrammes relevés à l'indicateur pendant le travail.

La plupart des machines exposées peuvent lutter avantageusement par le fini du travail, la bonne disposition et même le prix avec les machines de construction étrangère.

Les constructeurs italiens ont surtout porté leur attention dans ces dernières années sur l'emploi économique de la vapeur, question capitale dans un pays où le combustible est relativement cher. Aussi voit-on, dans les ma-

chines exposées, tous les détails étudiés avec soin, notamment les parties qui se rapportent à la distribution de la vapeur dans les cylindres.

La force motrice est fournie dans la galerie des machines en mouvement par huit machines prenant la vapeur à huit chaudières de différents modèles. Le type de générateur le plus en usage en Italie est le type de Cornouailles, mais, depuis quelques années, et on peut en juger par l'exposition actuelle, la chaudière Ten-Brink gagne du terrain. Les huit chaudières sont placées côte à côte dans un bâtiment spécial.

La première chaudière est du type Fairbairn, avec deux carneaux, construite par MM. Miani et Venturi, de Milan. La surface de chauffe est de 100 mètres carrés, la surface de grille de 2. 40 et la pression de marche de 5 1/2 atmosphères.

La chaudière à côté est du type Lancashire, avec deux carneaux, sortant des ateliers de MM. Tosi et Cie, de Legnano. La surface de chauffe est de 97 mètres carrés et la surface de grille de 2.75. La grille est disposée pour brûler des fines et du poussier, avantage apprécié en Italie; les barreaux de grille sont placés transversalement dans le foyer au lieu d'être disposés à la manière ordinaire; l'air est soufflé sous la grille par un appareil Körting et la chaudière est munie d'un réchauffeur à tubes de Sulzer.

La troisième chaudière est une chaudière marine construite par la Société des Ateliers de Pietrarsa et Granili à Naples. Elle est de forme cylindrique et contient deux foyers ondulés de Fox; son diamètre est de $2^m,38$ et sa longueur est de $4^m,55$; il y a 60 tubes. La surface de chauffe est de 89 mètres carrés, la surface de grille de 1.73 et la pression de 6.25 atmosphères.

Après vient une chaudière Ten-Brink, de MM. G. Rochette et Cie, de Turin, composée de trois bouilleurs cylindriques placés les uns au-dessus des autres. Ce générateur a 56 mètres carrés de surface de chauffe et 0,87 de surface de grille.

Le numéro 5 est également une chaudière Ten-Brink, exposée par la « Fonderia Fratte » à Salerne. Cette chaudière présente quelques modifications, notamment deux carneaux; elle a une surface de chauffe de 69 mètres carrés et une surface de grille de 1.70.

A la suite vient le plus puissant générateur de l'exposition; c'est une chaudière Ten-Brink à deux foyers, provenant des ateliers de MM. Odero, de Sestri Ponente, ayant 112 mètres carrés de surface de chauffe et 2.30 mètres carrés de surface de grille. Il y a une dispoition de foyer fumivore.

MM. Cravero et Cie, de Gênes, ont fourni les deux dernières chaudières qui appartiennent au type de Cornouailles et sont munies de réchauffeurs Sulzer. La première a deux carneaux, une surface de chauffe de 80 mètres, et une surface de grille de 2 mètres carrés; la seconde n'a qu'un carneau, une surface de chauffe de 44 et une surface de grille de 1.12 mètres carrés. Cette dernière est disposée pour brûler de la tannée qu'on place dans une trémie au-dessus du foyer et qui est distribuée automatiquement dans celui-ci.

Il y a un second groupe composé de huit chaudières de locomotives fournies par la Compagnie des chemins de fer de la Haute-Italie, qui alimente les machines de l'éclairage électrique.

L'eau pour la condensation des machines, l'arrosage et autres emplois, est prise dans le Pô et élevée par une machine de 40 chevaux nominaux, construite par MM. Cerimedo et Cie, Societa Elvetica, à Milan, qui ont fourni récemment une machine semblable pour la nouvelle distribution d'eau de Venise. Les machines, pompes et chaudières sont placées dans un bâtiment situé au bord du fleuve, près du château moyen âge, et l'eau est refoulée à raison de 60 litres par seconde à une hauteur verticale de 25 mètres par une conduite en fonte de 430 mètres de longueur, dans un réservoir monumental situé près de l'entrée méridionale de la galerie des machines en mouvement.

La chaudière est du système Mac-Nichol (eau dans les tubes); elle a une surface de chauffe de 60 mètres carrés et une surface de grille de 2.72; elle fonctionne à une pression de 6 atmosphères.

La machine du type compound horizontal a deux cylindres de 0^{m},24 et 0^{m},44 de diamètre, et 0^{m},50 de course, disposés l'un à côté de l'autre. La pompe à air, également horizontale, est actionnée directement par la tige de piston du grand cylindre. La détente variable dépend du régulateur. L'arbre moteur porte un pignon engrenant avec une roue dentée placée audessous et dont l'arbre fait 12 tours pour 80 du premier, de manière à donner aux pompes une vitesse modérée, tout en permettant de profiter pour la machine motrice des avantages d'une pression élevée, d'une forte détente et d'une grande vitesse de piston.

Les pompes sont du système Girard; les quatre corps sont placés horizontalement deux à deux avec un plongeur pour chaque paire; les tiges sont guidées dans des glissières et actionnées par bielles et manivelles; les plongeurs ont 0^{m},425 de diamètre et 0^{m},70 de course. Les presse-étoupes plongent dans l'eau; les plongeurs sont en fonte et creux, de sorte que leur poids étant sensiblement égal à celui du volume d'eau qu'ils déplacent, le frottement est réduit au minimum.

Du réservoir dont il a été question plus haut, l'eau est élevée par un autre appareil élévatoire dans un bâtiment placé près de l'entrée de la galerie des machines en mouvement. Ces pompes sont encore du système Girard, mais les constructeurs : MM. Bosisio, Larini, Nathan et Cie, de Milan, y ont introduit des modifications importantes, qui en font le plus remarquable appareil hydraulique de l'Exposition, appareil qui ferait honneur aux meilleurs constructeurs anglais.

Les pompes sont au nombre de quatre, disposées deux à deux avec un plongeur par paire et les presse-étoupes dans l'eau. Les plongeurs ont 0^{m},60 de diamètre et leur course peut être de 0^{m},70, 0^{m},85 ou 1 mètre, selon la position des boutons de manivelle sur les disques, qui portent trois trous disposés à cet effet. L'arbre sur lequel sont calés ces disques fait 9 tours et demi par minute et reçoit, par une grande roue dentée, un

pignon et d'autres organes intermédiaires, son mouvement de l'arbre de transmission du département électrique. Les quatre pompes sont indépendantes l'une de l'autre et peuvent être arrêtées ou mises en marche séparément; les clapets sont en caoutchouc et disposés de manière à être visités facilement. Le débit est de 166 litres par seconde; il y a un réservoir d'air en tôle avec un régulateur automatique qui maintient la pression constante dans les conduites, tout en y prévenant l'introduction de l'air.

Le « Stabilimento Forlinese di Costruzione Mecchaniche » a exposé une machine horizontale sans condensation, à détente variable, de 20 chevaux; la distribution se fait par excentriques et tiroirs avec un tiroir de détente Rieder contrôlé par le régulateur.

MM. Luciano et Cie, de Turin, ont envoyé une machine à un seul cylindre, à détente variable et sans condensation, de 20 chevaux de force nominale. Les tiroirs de distribution et de détente sont actionnés par un disque placé au bout d'un arbre longitudinal relié à l'arbre moteur par des roues d'angle; le tiroir de détente est cylindrique avec les lumières disposées en hélice, de sorte que la rotation de ce tiroir sur son axe, effectuée par l'action du régulateur, varie le point de fermeture de l'introduction de la vapeur dans les lumières du tiroir principal de distribution.

La « Fonderia Fratte, » de Salerne, a exposé une machine de 100 chevaux de puissance nominale, qui n'a pas de rivale dans l'exposition pour la manière dont elle est étudiée et exécutée. C'est une compound tandem horizontale (cylindres bout à bout); les cylindres ont 0m,32 et 0m,42 de diamètre et 0m,80 de course. La distribution se fait par des soupapes équilibrées; celles d'admission sont placées sur les cylindres et commandées par des excentriques portés par un arbre longitudinal relié à l'arbre moteur par des roues d'angle; les soupapes d'échappement sont sous les cylindres et commandées par des cames; l'introduction au petit cylindre est réglée par le régulateur et l'introduction au grand à la main.

Les deux cylindres et le réservoir intermédiaire ont des enveloppes de vapeur; le condenseur et la pompe à air sont placés au-dessous du plancher; cette dernière reçoit son mouvement d'un balancier actionné par le prolongement de la tige du piston du grand cylindre, laquelle sort du plateau arrière de ce cylindre par un presse-étoupes.

Toutes les parties de l'appareil sont facilement abordables; le mécanicien a sous la main la soupape de mise en marche, le robinet d'injection, le robinet d'alimentation à la chaudière et les robinets purgeurs des cylindres, et, sous les yeux, le manomètre, l'indicateur du vide, de sorte qu'il a de sa place le contrôle entier de la machine.

Le volant a 4 mètres de diamètre et porte cinq gorges à sa circonférence. La machine est munie de graisseurs automatiques; un tuyau en col de cygne, tournant avec la manivelle, permet le graissage continu en marche du bouton de manivelle. Il y a un indicateur du nombre de tours et une disposition ingénieuse pour relever des diagrammes d'indicateur. La ma-

chine fait 70 tours par minute et reçoit la vapeur de la chaudière à la pression de 5 atmosphères et demi..

MM. Cravero et Cie, de Gênes, ont envoyé à l'exposition une machine compound tandem horizontale à condensation de 40 chevaux de force nominale. Les soupapes de distribution sont actionnées par des mécanismes à leviers reliés à quatre excentriques portés par un arbre longitudinal, que l'arbre moteur commande par des roues d'angle.

Il y a une machine du même type, construite par MM. Luciano, de Turin, et de 100 chevaux de force nominale. Les cylindres ont $0^m,305$ et $0^m,540$ de diamètre et $0^m,86$ de course. La distribution est une modification du type Corliss et on ne peut en donner une idée sans le secours des dessins.

MM. Nicola Odero, de Sestri Ponente, ont exposé une machine horizontale à condensation, de 100 chevaux nominaux. Le cylindre unique a $0^m,53$ de diamètre et $1^m,10$ de course; il a une enveloppe de vapeur. La distribution s'effectue par des soupapes équilibrées, commandées par des excentriques calés sur un arbre disposé à angle droit de l'arbre moteur.

Les « Stabilimenti d'Industrie Mecchaniche di Pietrarsa e Granili » de Naples, ont envoyé une machine compound à condensation de 60 chevaux de force nominale. Les cylindres, de $0^m,34$ et $0^m,50$ de diamètre sur $0^m,75$ de course, sont disposés horizontalement l'un à côté de l'autre; ils ont des enveloppes de vapeur ainsi que le réservoir intermédiaire, lequel contient 34 tubes chauffés par la vapeur venant de la chemise du petit cylindre. La distribution se fait par un mécanisme dérivé du type Sulzer. La détente est variable au petit cylindre par le régulateur et au grand cylindre à la main.

La machine exposée par M. Enrico, de Turin, est la plus originale de toutes; c'est une machine à un seul cylindre horizontal, à condensation de 60 chevaux de force nominale. Elle est caractérisée par la substitution à des organes rigides tels que bielles et leviers de tuyaux contenant de l'huile pour la commande des soupapes de distribution de la vapeur.

Les deux soupapes d'admission placées sur le cylindre sont mues par une petite pompe qui refoule de l'huile et qui est commandée par un excentrique calé sur l'arbre du volant; cette huile soulève ou abaisse des pistons reliés aux soupapes. Les soupapes d'échappement, disposées en dessous du cylindre, sont commandées par un excentrique spécial calé sur l'arbre moteur; il n'y a pas d'enveloppe de vapeur. La pompe à air, disposée au-dessous du plancher, est une pompe rotative actionnée par une courroie et une poulie de l'arbre du volant. Cette machine, qui paraît fonctionner très régulièrement, a été achetée par les propriétaires d'une filature de coton de Pignerol.

La puissance collective des huit machines qui viennent d'être passées en revue est de 900 chevaux nominaux.

Deux lignes d'arbres de transmission courent dans toute la longueur de la galerie des machines, supportées sur de forts bâtis en fonte. Ces arbres sont commandés par les appareils moteurs au moyen de cordes et de pou-

lies à gorges au lieu de courroies; ce système fonctionne admirablement, il est plus économique que les courroies en cuir, facile à installer et à déplacer et présente plus de sécurité, parce qu'il est impossible que toutes les cordes d'une transmission cassent à la fois; enfin, on a bien moins à craindre le glissement qu'avec les courroies.

Touage sur le Volga. — Il a été fait par M. Bachmann, au groupe de Hanovre de l'Association des ingénieurs allemands, une intéressante communication sur un curieux procédé de traction en usage sur le Volga.

C'est une sorte de halage sur point fixe ou touage, opéré au moyen de bateaux qu'on appelle *bateaux cabestans*, et qui, concuremment aux bateaux à voile ou à vapeur, joue encore aujourd'hui un rôle important sur le Volga. Ces bateaux cabestans sont mus par des chevaux ou par des machines à vapeur.

Les premiers, qui rappellent singulièrement le toueur à manège construit par le maréchal de Saxe en 1732, ont à bord jusqu'à 150 et 200 chevaux, lesquels sont logés dans des écuries placées sous le pont. Sur celui-ci sont disposés un certain nombre de manèges auxquels les chevaux sont attelés; ces manèges actionnent tous un arbre principal qui commande un tambour sur lequel s'enroule le câble de touage. Au-dessus des manèges est un toit ou abri pour préserver les chevaux de l'ardeur du soleil; on change les chevaux toutes les trois heures. Chaque manège en a 8 ou 10, suivant la grandeur du bateau. Le changement de chevaux se fait successivement de manège à manège, sans que le fonctionnement du bateau soit suspendu; il suffit de séparer le manège sur lequel on opère de la transmission générale.

On achète les chevaux au point de départ du bateau et on les revend à l'arrivée, ce qui, par parenthèse, ne constitue pas toujours une bonne opération. Les vivres pour les hommes d'équipage et les chevaux sont emmasinés sur le bateau.

Le bateau cabestan est accompagné ou plutôt précédé d'un petit bateau à vapeur qui est chargé de porter en avant l'ancre à laquelle est attaché le câble de 125 millimètres de diamètre sur lequel s'opère le halage; la marche a lieu d'une manière continue nuit et jour; il y a deux ancres et deux câbles, de manière que, tandis que le bateau cabestan se hale sur les uns, les autres sont portés en avant par le bateau à vapeur. On remarquera que c'est exactement le système de halage organisé à l'origine sur le Rhône par Seguin et Montgolfier avec les bateaux à vapeur *le Voltigeur* et *le Remorqueur*.

Un bateau cabestan remorque 12 bateaux et même plus, attachés deux à deux ou trois à trois de front, et représentant une charge totale de 1 million de pouds, soit 16,000 tonnes environ. Ces bateaux vont d'Astrakan et de l'embouchure de la Kama à Nijni-Nowgorod et font, dans les cas favorables, deux voyages en mai, juin et juillet. Ils pourraient faire plus de voyages, mais, s'ils ne le font pas, c'est par manque de fret.

Les bateaux cabestans à moteurs mécaniques sont bien plus simples; ils

ont des machines à condensation de 100 chevaux qui commandent les treuils par engrenages et actionnent également des roues à aubes latérales, lesquelles servent à la descente, tandis que les bateaux à chevaux sont remorqués dans ce cas par le bateau à vapeur auxiliaire. Les cabestans à vapeur traînent de plus fortes charges et vont plus vite ; ils sont donc d'un usage plus avantageux. Ce système de touage est employé depuis une quarantaine d'années sur le Volga. Il semble qu'il serait intéressant de lui substituer un système de halage sur chaîne noyée, si toutefois le trafic justifiait la dépense d'installation de la chaîne ; la difficulté est vraisemblablement que ce trafic n'a lieu que pendant trois ou quatre mois de l'année.

Le métal Delta. — On parle beaucoup, depuis quelque temps, notamment en Allemagne, d'un alliage qu'on désigne sous le nom de *métal Delta*. Nous trouvons à ce sujet les détails suivants dans une communication faite sur les nouveaux alliages de cuivre par M. Perry F. Nursey à la *Society of Engineers*.

Le métal Delta a été présenté en 1883 par M. Alexander Dick, de Dusseldorf. Il est bon de dire tout de suite que son nom est simplement l'initiale exprimée en caractère grec du nom de son auteur. Celui-ci avait été frappé de ce fait qu'il y a une vingtaine d'années, Aich et le baron Rosthorn avaient obtenu de bons résultats en introduisant un peu de fer dans les alliages de cuivre et de zinc ; le métal obtenu avait beaucoup plus de ténacité, d'après les essais faits alors et publiés dans le traité du docteur Percy. Un fondeur de cuivre de Londres, qui fabriquait de ces alliages, informa M. Dick qu'il obtenait parfois un métal excellent pour les coussinets et autres pièces de machine, mais que les résultats étaient très irréguliers ; on ne pouvait avoir des produits constants avec une fabrication en apparence toujours la même. Ne pouvant réussir régulièrement, ce fondeur ainsi que ceux qui l'avaient imité avaient dû renoncer à faire de ces alliages.

M. Dick étudia les causes de cette incertitude dans l'obtention des produits ; il procéda d'après le mode employé en Autriche, en dissolvant du fer dans du cuivre en fusion ; le fer se répartissait très inégalement dans l'alliage, dont les diverses parties étaient de composition et de qualité très différentes. Il fallait donc trouver une autre manière d'opérer ; M. Dick eut l'idée de dissoudre le fer jusqu'à saturation dans du zinc en fusion et d'ajouter l'alliage, avec ou sans addition de zinc pur, dans le cuivre en fusion ; on peut ainsi doser exactement les proportions de fer ; mais il y avait une difficulté : c'était l'oxydation et l'incorporation des oxydes dans la masse, ce qui modifiait la résistance du métal. Cette difficulté fut surmontée par l'addition au cuivre d'une légère proportion de phosphore. On ajoute dans certains cas de l'étain, du manganèse ou du plomb. En somme, une série très complète d'expériences a permis de choisir les meilleures proportions et d'arriver à un certain nombre de produits de composition définie, ayant des propriétés spéciales et dont l'ensemble est actuellement désigné sous le nom de *métal Delta*.

La densité du métal Delta est de 8.4, son point de fusion 900 degrés. Sa couleur est celle d'un alliage d'or et d'argent; on peut le travailler à froid et à chaud. Lorsqu'il est en fusion, il est très liquide et les pièces coulées sont bien saines et ont un grain très fin. Il ne se soude pas, mais on peut le braser comme le cuivre ou le laiton et, si la pièce est mince, elle se brûle avec une grande facilité. Fondu dans le sable, il présente une résistance à la rupture de 35 kilog. par millimètre carré. Lorsqu'il est forgé au rouge sombre, sa résistance devient de 50 à 55 kilog. par millimètre carré et elle arrive à 62 kilog., lorsque le métal a été martelé ou laminé à froid.

On peut, suivant la composition, l'étirer et l'emboutir, soit à froid, soit à chaud, et, dans ce dernier cas, on peut obtenir par matriçage des objets analogues à ceux qu'on fait en bronze ou en laiton par voie de fusion. On a ainsi des pièces parfaitement homogènes et sans soufflures. La propriété du métal Delta d'être semi-pâteux à chaud permet d'obtenir à la presse hydraulique des tuyaux analogues aux tuyaux de plomb, mais infiniment plus résistants.

Il est à remarquer que, dans le métal obtenu par le procédé Dick, le fer est chimiquement combiné. En effet, le métal n'est pas sujet à la rouille et il n'a pas d'action sur l'aiguille aimantée.

Les usages auxquels on peut appliquer les nouveaux alliages sont très nombreux. On dit qu'on peut le substituer au bronze et même, dans certains cas, au fer et à l'acier, avec l'avantage de ne pas avoir à craindre la rouille. On s'en sert déjà dans l'armurerie, la fabrication des torpilles, celle des vélocipèdes, pour les cloches et divers articles domestiques. On en fait des plongeurs, pistons et tiges de pompes. On a pu voir à l'exposition d'électricité, au palais de Cristal, une embarcation à vapeur de 11 mètres de longueur, construite par MM. Yarrow et C[ie] en métal Delta; les tôles et cornières sont des mêmes échantillons que si elles étaient en acier doux; la quille, l'étrave et l'étambot sont en métal Delta forgé; l'hélice est en métal fondu. On peut faire les coques très légères, parce qu'on n'a pas à se préoccuper de l'oxydation, comme avec le fer et l'acier; et cette matière convient très bien pour les navires ou bateaux qui ont à transporter du sucre, du sel et des produits chimiques. De plus, le vieux métal conserve encore sa valeur.

On a fait en mai et juin de cette année des expériences à l'établissement d'essai du gouvernement à Berlin. On a trouvé que la limite d'élasticité était de 22 kilog. par millimètre carré; la rupture s'est produite à 58 kilog. avec un allongement de 12.9 pour 100 et une contraction à la section de rupture de 17.4 pour 100.

Les essais à l'écrasement ont donné les résultats moyens ci-dessous :

Efforts	10,000 kilog.	Compression	0,80	pour 100.
—	20,000	—	1,33	—
—	30,000	—	2,03	—

Efforts	35,000 kilog.	Compression	2,71	pour 100.
—	40,000	—	3,87	—
—	45,000	—	5,77	—
—	50,000	—	8,20	—
—	55,000	—	10,76	—
—	60,000	—	13,41	—

L'écrasement s'est produit à 61,500 kilogrammes représentant 94k,5 par millimètre carré.

Dans les essais à la torsion, on a opéré sur une éprouvette de 25 centimètres de longueur, la limite d'élasticité a été constatée à un angle de 8°48′ et la rupture ne s'est produite qu'après 794°, soit plus de deux tours.

Une chaîne en métal Delta, de 18 millimètres obtenue par fusion, provenant des chaînes fabriquées pour le nouveau cuirassé brésilien *Riachuelo*, a été également éprouvée; la rupture s'est produite à 30 kilogrammes par millimètre carré.

Il nous paraît de toute justice de rapporter ici un fait qui nous a été signalé par notre collègue M. Boulet, le constructeur de machines bien connu. M. Lefebvre, fondeur à Saint-Quentin, fabrique depuis vingt-cinq ans des alliages de cuivre et de fer de composition très régulière; il procède, paraît-il, par addition au cuivre de rognures de fer-blanc. Ces alliages très résistants sont fort employés pour la robinetterie, mais M. Lefebvre, auquel nous nous sommes adressé, nous a dit avoir proposé, en 1863, au ministère de la guerre un alliage contenant 20 pour 100 de fer avec mélange parfait pour fabrication de pièces d'artillerie. La question de prix aurait été, d'après lui, la seule raison qui ait empêché les essais.

Chemin de fer à crémaillère. — Nous trouvons dans le *Schweizerische Bauzeitung* quelques renseignements sur un nouveau chemin de fer à crémaillère récemment établi dans le Wurtemberg. Cette petite ligne de 1900 mètres de longueur établit une communication entre la partie sud-ouest de Stuttgart et le village assez important de Degerloch. La ligne est établie en partie sur une ancienne route assez large pour qu'il reste à côté de la voie ferrée encore une largeur de 4 mètres. La voie est à l'écartement de 1 mètre, la pente maxima est de 17,2 pour 100 et le rayon minimum des courbes de 120 mètres. La différence de niveau entre les deux extrémités est de 197 mètres.

Les rails pesent 20 kilogrammes le mètre et reposent sur des traverses en fonte, lesquelles portent au milieu la crémaillère du modèle Riggenbach et sont en outre, pour plus de sécurité, reliées à leurs extrémités par des fers à rebords disposés parallèlement aux rails.

Les travaux de terrassement ont été nuls sur la partie empruntée à la route, mais dans le reste du tracé il aurait fallu faire des remblais importants, et on a préféré établir un viaduc métallique à travées de 12 mètres

portées par des piles également métalliques reposant sur des fondations en maçonnerie.

Les locomotives du type Riggenbach ont quatre roues de support, une roue dentée motrice, un frein à air et un frein à main; elles pèsent 16 tonnes en service; elles sont placées, comme au Rigi, derrière le train composé de deux voitures pouvant contenir 50 voyageurs. La durée du trajet est de 12 minutes, ce qui correspond à une vitesse de marche de 10 kilomètres à l'heure.

Le prix d'établissement, y compris l'acquisition des terrains, a été de 460,000 francs dont une partie a été couverte par des subventions de l'État, des communes et de quelques intéressés. La ligne appartient à M. Émile de Kessler, directeur de la fabrique de machines d'Esslingen, qui a construit tout le matériel fixe et mobile dans ses ateliers. La construction a été faite avec une rapidité remarquable; les travaux ont commencé à la fin d'avril et l'ouverture a pu avoir lieu le 24 août.

La ligne de Stuttgart à Dogerloch est le cinquième chemin de fer à crémaillère établi en Allemagne, d'après le système Riggenbach, et le quinzième chemin de fer de ce genre à traction de locomotives qui fonctionne tant en Europe qu'en Amérique.

Walter R. Browne. — M. Walter R. Browne ne faisait partie que depuis peu de temps de la Société des Ingénieurs civils; mais, comme il était connu d'un grand nombre de nos collègues, nous croyons intéressant de donner ici une notice nécrologique extraite d'articles publiés dans divers journaux anglais et américains sur cet ingénieur distingué.

M. W. Raleigh Browne est mort de la fièvre typhoïde le 4 septembre dernier, à Montréal; il s'était rendu au Canada pour la réunion de l'Association britannique. M. W. R. Browne était né en 1842, à Standish, Angleterre; il était le troisième fils du révérend Murray Browne, chanoine honoraire de la cathédrale de Gloucester, et vicaire d'Almonsbury. Il avait fait ses études au Trinity Collège, à l'Université de Cambridge, et y avait remporté les plus brillants succès scolaires. En quittant l'Université il voulut embrasser la profession d'ingénieur et fit son apprentissage d'abord chez MM. Losh, Wilson et Bell, aux Walker Engine Works, sur la Tyne; puis chez M. Howard, ingénieur résident des travaux des docks et du port de Bristol. Il fut, après l'achèvement de son apprentissage, directeur de la fabrique de wagons de Bridgewater, il reçut à cette époque la médaille d'or de Telford de l'*Institution of Civil Engineers* pour un travail sur les assemblages par rivets.

M. Browne était un homme de science et d'étude plutôt qu'un praticien; il accepta donc volontiers la position qui lui fut offerte en 1877, après la retraite de M. Marshall, de secrétaire de l'*Institution of Mechanical Engineers*, position qu'il occupa pendant six années. C'est en cette qualité que plusieurs de nos collègues ont pu faire sa connaissance, lorsque l'Institution vint tenir sa séance à Paris, en mai 1878, et fut reçue par la Société

des Ingénieurs civils. Il rendit de grands services à l'Institution qui venait de transférer son siège de Birmingham à Londres; néanmoins certaines difficultés firent qu'il crut devoir résigner ses fonctions à la fin de l'année dernière. Il s'était depuis établi ingénieur consultant à Westminster, et paraissait avoir toutes les chances de succès par ses aptitudes et ses relations, lorsqu'il entreprit le voyage au Canada dont il ne devait pas revenir.

M. Browne était membre d'un très grand nombre de sociétés, parmi lesquelles l'*Institution of Civil Engineers*, l'*Institution of Mechanical Engineers*, la Société des Ingénieurs civils, la Société royale de Géographie, la Société Géologique de Londres, la Société de Physique de Londres, la Société de Philologie, la Société de recherches physiques; en dehors des études relatives à sa profession, il s'occupait de recherches sur la linguistique et surtout des questions concernant la criminalité et le paupérisme; il était membre actif de sociétés de secours pour les prisonniers libérés et pour les enfants abandonnés.

Il a laissé beaucoup d'ouvrages dont le premier est la traduction du traité de thermodynamique de Clausius, entre autres des mémoires sur la résistance des portes d'écluses, les principes fondamentaux de la mécanique, la mécanique de l'étudiant, la cause des mouvements des glaciers, le combustible et l'eau, en collaboration avec le professeur Schwackhofer, une biographie de John Stuart Mill, etc., etc., ainsi qu'une série d'écrits d'un ordre tout différent : *Inspiration du Nouveau Testament. Possibilité de prouver les miracles, Controverse entre M. Bradlaugh et W. R. Browne*, etc. Le titre de ces derniers écrits indique les sentiments profondément religieux de notre collègue. Tous les journaux anglais s'accordent à considérer la mort de M. W. R. Browne, comme une grande perte pour la profession du génie civil et pour la littérature scientifique.

Le Pont d'Henderson. — Le pont en construction sur l'Ohio entre Henderson (Kentucky), et Évansville (Indiana), pour le Louisville and Nashville Railroad est un des ouvrages les plus considérables qui auront été faits aux États-Unis. Le pont proprement dit aura 1,124 mètres de longueur et sera précédé sur la rive d'Indiana d'un viaduc de 4,800 mètres; de sorte que la longueur totale de l'ouvrage atteindra presque 6 kilomètres.

Les fondations se font par des caissons à air comprimé comme au pont de Saint-Louis et à celui de l'East River.

Les travaux avaient été commencés par des entrepreneurs, mais ils n'avançaient que très lentement et la Compagnie a dû les reprendre au 15 avril de cette année. Il a fallu relever à grands frais trois caissons échoués dans une mauvaise position. Actuellement sept des fondations des piles sont terminées sur quinze, et les autres sont plus ou moins avancées. Les piles n°s 2, 3 et 4 sont achevées; les piles 5 et 6, les plus importantes, devaient l'être pour le 1er octobre. Neuf des fondations ont dû être des-

cendues à 10 mètres au-dessous des basses eaux et dans deux on a dû descendre de 2m,50 dans le rocher. Les caissons ont employé plusieurs milliers de mètres cubes de bois et 450 tonnes de fer. Il y a eu au mois de juillet 920 ouvriers, dont 300 travaillaient dans l'air comprimé. Les échafaudages en bois étaient préparés pour le montage des premières travées et deux de celles-ci ont dû être mises en place pendant le mois de septembre. La Compagnie de Keystone Bridge, qui est chargée de la fourniture de la partie métallique, pousse activement le montage à mesure de l'achèvement des piles et compte que les trains pourront passer le 1er janvier 1885. La partie inférieure des poutres est à 15 mètres au-dessus des plus hautes eaux et il y a une travée de 160 mètres, la plus grande portée encore atteinte aux États-Unis; aussi n'y aura-t-il aucune gêne pour la navigation.

Appareil homolographique pour levés de plans de MM. Peaucellier et Wagner. — Au sujet du mémoire de M. J. Meyer sur la stadia topographique présenté à la séance de la Société des Ingénieurs civils du 3 octobre dernier, notre collègue, M. de Jubecourt, nous a signalé un appareil automatique, dit homolographe, dont l'emploi serait encore plus simple que celui de la stadia topographique. Cet appareil, dû à MM. Peaucellier et Wagner, officiers du génie français, permet au moyen d'une simple visée de piquer mécaniquement sur une planchette la position horizontale du point occupé par la mire dans un rayon de 140 mètres et de lire immédiatement l'altitude vraie de ce point.

Il n'y a donc plus ni à chercher ni à rapporter sur le papier la distance réduite à l'horizon, ni à calculer la hauteur du point relevé. De là plus de rapidité et moins de chances d'erreur dans les opérations.

M. de Jubecourt a en même temps adressé à la Société pour la bibliothèque une brochure intitulée : *Des méthodes de levés en usage à la brigade topographique et de l'emploi d'un nouvel instrument* (appareil homolographique de MM. Peaucellier et Wagner), *destiné à substituer aux opérations habituelles des procédés purement mécaniques*, par M. Wagner, chef de bataillon du génie (*Extrait du Mémorial de l'officier du génie* n° 23). Paris, 1874, chez Gauthier-Villars.

Cette brochure contient, comme première partie, la description de la méthode suivie actuellement à la brigade topographique, laquelle exige, pour la détermination de chaque point de détail, six opérations distinctes, savoir pour la planimétrie : 1° la lecture de l'angle d'orientement ; 2° la lecture de la distance horizontale sur le stadimètre ; 3° le report sur le papier de ces deux éléments ; et, pour le nivellement du même point : 1° la lecture de l'angle de pente ; 2° le calcul de la différence du niveau entre le point observé et le point de station, et, 3° une addition ou une soustraction pour déduire, de cette différence, l'altitude vraie.

Aussi les levés par cette méthode sont-ils lents et coûteux; un opérateur sur le terrain ne peut-il faire en moyenne par journée de travail que 1/3 à

1/2 hectare et 1 hectare dans les conditions les plus favorables; le prix de revient ne peut donc être évalué à moins de 10 à 11 francs par hectare de terrain levé et nivelé, non compris l'établissement de la triangulation et la mise à l'encre du dessin.

La deuxième partie est consacrée à la description et à l'usage de l'instrument.

L'*homolographe* se compose d'une lunette particulière supportée par un bâtis qui peut tourner autour d'un axe vertical, enveloppant une planchette circulaire fixée sur un plateau horizontal. La lunette se déplace dans un plan vertical passant par l'axe vertical de l'instrument. Le réticule de la lunette comprend, outre les deux fils croisés à angle droit des lunettes ordinaires, un micromètre composé de fils verticaux, dont l'un fixe et l'autre monté sur un chariot mobile en contact avec un coin dont le mouvement est transmis par un système articulé à un pivot placé à la partie antérieure de la lunette ; ce pivot se déplace ainsi suivant l'espacement des fils et guide un parallélogramme articulé, disposition dont il serait impossible de donner une idée sans le secours de figures ; il suffira de dire que si on vise une division de la mire peinte en noir avec traits en blanc, et qu'on amène le fil mobile à coïncider avec la division voisine, la distance du centre de la lunette à un pivot du parallélogramme, exprimée en millimètres et fractions de millimètre, donne la distance de la mire au centre de la lunette, exprimée en mètres et fractions de mètre. De plus, l'aiguille d'un piquoir porté par un chariot faisant partie de l'instrument, permet de marquer immédiatement sur la planchette la projection horizontale du point visé. C'est en somme un télémètre traceur. Les différences de niveau entre le point observé et la station sont représentées à une échelle de $\frac{1}{1,000}$ par la distance du pivot de l'instrument au plan horizontal passant par le centre de celle-ci et une disposition particulière de l'échelle et du vernier permet de lire exactement l'altitude des points observés.

Le degré de précision et les avantages pratiques de cet instrument ont été, d'après la brochure à laquelle nous avons emprunté les renseignements ci-dessus, constatés par un certain nombre d'expériences dont le détail est donné ; les auteurs estiment qu'on peut obtenir un travail bien plus considérable qu'avec les méthodes ordinaires; ils indiquent une vitesse de 5 à 8 hectares par séance au lieu de 2 1/2 au maximum ; on pourrait compter sur une vitesse triple à conditions égales.

L'appareil de MM. Peaucellier et Wagner est construit par MM. Brunner frères, à Paris.

Nous n'avons d'ailleurs aucune donnée sur la part qu'a pu acquérir cet instrument dans la pratique des levés de plans et des nivellements depuis la publication de la brochure que nous venons de signaler.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

JUILLET 1884.

Rapport de M. DEFRESNE sur la **Scie à découper le marbre de M. Jeansaume.** — On sait que le sciage des pièces dures, marbres, etc., est très long avec les procédés ordinaires. M. Jeansaume se sert d'une scie ordinaire, large à peine d'un demi-centimètre, avec des dents verticales et courtes comme celles d'une scie à métaux ; cette scie attaque le marbre au milieu d'un courant d'eau et, à la sortie de la pierre, rencontre une molette qui refait sur la lame de la scie ce que la matière dure avait emporté. La rénovation des dents s'opere d'une manière continue pendant le travail et n'entraîne qu'une dépense insignifiante.

Rapport de M. LECOEUVRE sur le **Lubréfieur mécanique, système Mollerup,** présenté par M. DREVDAL. — C'est un graissage agissant sur la vapeur avant son arrivée dans la boîte de distribution et formé d'un corps de pompe contenant l'huile sur laquelle presse un piston; ce piston est abaissé par une vis qui tourne sous l'action d'une roue à rochet, reliée avec un des organes mobiles de la machine. La capacité du cylindre est en rapport avec le graissage d'une journée. M. Drevdal dit avoir déjà fourni 2,000 appareils de graissage de ce système, notamment à l'étranger.

Rapport de M. BOITEL sur l'ouvrage de M. DEMONTZEY, intitulé **Reboisement des montagnes.** — Un compte rendu sommaire de cet ouvrage a été donné dans le numéro de mai 1884 des *Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, page 632.

Rapport de M. ADOLPHE DAILLY sur la **Méthode de comptabilité agricole,** de M. J. PILTER.

Rapport de M. ROY sur la **Théorie des prix proportionnels de vente** dans les industries à produits variables et à frais entièrement ou partiellement fixes, présentée par M. Ernest FUCHS. — M. Fuchs a établi,

pour l'industrie de la filature, une théorie d'après laquelle, étant donnée l'unité de dépense d'un établissement à force continue et à dépense fixe, il distribue à chaque combinaison à laquelle la fabrication peut se prêter sa part dans le travail et dans la dépense de l'usine; ces renseignements sont traduits sous forme de tableaux graphiques; un examen rapide permet au fabricant de voir quel avantage il peut avoir dans un marché qui lui est proposé.

L'auteur prend pour base, dans le tracé des prix proportionnels des fils de coton, la chaîne n° 28, qui est un numéro de fil courant et dont le prix est toujours coté. Pour les tissus, il prend également un article qui sert de base à la comparaison des diverses combinaisons qui donnent le poids et le nombre de fils d'un tissu.

Notice sur **M. de Fontenay**, ancien directeur des cristalleries de Baccarat, par M. EUGÈNE PÉLIGOT. (Cette notice est en partie empruntée à celle que M. Didierjean a donnée dans les *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils* d'avril 1884.)

Sur le coulage de la porcelaine, par M. LAUTH, administrateur de la manufactnre de Sèvres.

Sur la fermentation panaire. (C'est une série de notes sur la question extraite des *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences.)

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

AOUT 1884.

Mémoire sur le **Calcul de résistance des poutres droites à plusieurs travées** (3e partie), par M. M. HULEWICZ, ancien élève de l'École des ponts et chaussées. — Cette troisième partie contient l'étude des courbes enveloppes des moments fléchissants et des efforts tranchants. Elle donne les équations approximatives et les équations exactes des courbes enveloppes de 2 à 8 travées, ainsi que les tableaux numériques d'établissement de ces courbes.

Rapport présenté à la Commission centrale des machines à vapeur au nom de la Sous-Commission chargée des **Études et expériences rela-**

tives à l'eau surchauffée, par M. Hirsch, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Ce rapport a déjà paru dans les *Annales des Mines;* nous en avons donné un compte rendu dans le Bulletin de septembre 1884, page 302.

ANNALES DES MINES.

3e *livraison de* 1884.

Note sur un **dépôt de matière organique,** trouvé dans les mines de houille d'Ahun, par M. de Grossouvre, ingénieur des mines. — Cette matière, d'un blanc laiteux et d'une consistance gélatineuse, a donné à l'analyse 96 pour 100 d'eau et près de 4 pour 100 de matières sèches, dont 2.90 de matières organiques; ces dernières sont de nature albuminoïde; elles présentent une grande analogie avec celle qu'on trouve dans les eaux minérales, surtout thermales et sulfureuses qu'on désigne sous les noms divers de *barégine*, *sulfurine*, *glairine*, etc.

Comme on a pu reconnaître à une certaine époque le voisinage d'une source d'eau chaude sulfureuse qui a même arrêté les travaux d'approfondissement d'un des puits de la mine, on peut attribuer la formation de cette matière à l'eau provenant des infiltrations de cette source.

Note sur l'**appareil de déclenchement, système Aubine,** pour signal automoteur, par M. Schlemmer, inspecteur général des ponts et chaussées. — Cet appareil a pour but de produire le déclenchement d'un poids par l'effet d'une pédale actionnée par les roues du train. Ce principe a déjà été proposé et essayé depuis longtemps, mais la pédale était libre et, comme elle revenait dès lors à sa position première, elle était heurtée successivement par toutes les roues du train et mise promptement hors de service.

Pour empêcher cet effet destructeur, M. Aubine, agent du service télégraphique de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, a disposé un appareil de telle sorte que, dès que la première roue de la locomotive passe sur la pédale, celle-ci en s'abaissant déclenche le contrepoids qui fait tourner le disque et le met à l'arrêt; du même coup l'appareil exerce une pression sur le prolongement de la pédale et l'empêche de se relever. Le système reste dans cette situation tant que le fil de transmission du disque n'est pas manœuvré par la gare. La continuité du circuit électrique, qui va du disque à la sonnerie de la gare, est d'ailleurs encore interrompue et la sonnerie ne fonctionne pas, quoique le disque soit à l'arrêt. Mais, dès que

l'agent de la gare chargé de la manœuvre du disque a abaissé son levier, comme il doit le faire, d'après les règlements, pour couvrir le train, le circuit est complet et la sonnerie fonctionne. Ce mouvement rétablit, du même coup, dans l'appareil Aubine, l'enclenchement, de façon à permettre à la pédale de se relever; l'agent de la gare pourra dès lors mettre le disque à voie libre par le relèvement de son levier, et la transmission de ce mouvement aura lieu comme si l'appareil Aubine n'existait pas. L'appareil sera prêt alors à fonctionner de nouveau. Dix de ces appareils fonctionnent depuis dix-huit mois sur la ligne de Paris à Dijon et leur succès a engagé la Compagnie de Lyon à généraliser leur emploi sur les parties les plus fréquentées de son réseau.

Note sur les **filons de quartz aurifère de l'Atajo** (République Argentine), par M. Kuss, ingénieur des mines. — Ce système de filons de quartz aurifère rappelle singulièrement celui des filons aurifères de la Transylvanie et du Comstock aux États-Unis. Les roches de l'Atajo sont des rhyolites et des tufs rhyolitiques, dont l'épaisseur est de 5 à 600 mètres au-dessus du niveau de la plaine. Sur les nappes ou coulées sensiblement horizontales que forment ces roches tranchent vivement des dykes de couleur claire, à affleurements généralement saillants, inclinés de 60 à 80 degrés sur l'horizon et atteignant des puissances de 10 à 15 mètres, lesquels constituent des filons formés de deux bandes d'une roche jaunâtre, contenant de rares veinules de quartz, de deux bandes d'une roche beaucoup plus imprégnée de quartz et très chargée de pyrites, et enfin d'une bande centrale contenant deux veines de minerai proprement dit de $0^m,50$ à $0^m,60$ de puissance. Le minerai de cette partie centrale donne une teneur moyenne de 20 à 28 grammes d'or et de 50 à 100 grammes d'argent à la tonne. L'argent n'est pas allié à l'or.

Sur un nouveau procédé de **formation de chambres de mines** dans le roc, par MM. Wickersheimer, ingénieur des mines, et Pech, capitaine du génie. — La note contient d'abord une étude sommaire sur les procédés actuellement en usage pour le sautage des roches, perforatrices à percussion, à rotation, à diamants, machines Brunton, Beaumont, etc.

Le procédé des auteurs pour élargir le logement de l'explosif, sans toucher au reste du forage, consiste à percer deux trous de mines parallèles et de même profondeur, à charger l'un en le bourrant légèrement et à le tirer, l'autre restant vide; il en résulte que la cloison de séparation est brisée, mais seulement sur la hauteur de la charge; en opérant plusieurs fois de cette manière, on arrivera à former une chambre de mines. Le nettoyage des trous se fait par un fort courant d'eau envoyé par une pompe. L'emploi de ce procédé permet, d'après les auteurs, de réduire, quelles que soient les dimensions d'une galerie, le nombre des forages à ceux de la chambre et à ceux nécessaires pour conserver le profil. A cause

de leur éloignement, ils pourront tous être faits simultanément. Le mémoire donne un certain nombre de résultats d'expériences.

. **Des dimensions à donner aux piliers des carrières** et des pressions auxquelles les terrains sont soumis dans les profondeurs, par M. TOURNAIRE, inspecteur général des mines.

Les carrières exploitées par piliers réservés sont exposées à la destruction, soit par la chute des plafonds auxquels on a laissé une trop grande portée, soit par l'écrasement des piliers trop faibles pour la charge qu'ils ont à supporter.

C'est cette dernière cause qui fait l'objet du mémoire. Si on prend la résistance à l'écrasement d'une roche et sa densité, on arrive à trouver que la limite de profondeur à laquelle on devra, dans l'exploitation d'une carrière, arriver sous la menace de l'effondrement immédiat est, pour la craie, de 24 mètres, pour les calcaires tendres des environs de Paris, de 23 à 54 mètres, selon les variétés, pour le tuffeau, de 40 à 44 mètres, et, dans le gypse, de 70 mètres. Ceci est pour l'écrasement, mais il y a une autre considération, c'est le cisaillement autour des piliers, lequel dépend de la distance de ceux-ci, dans l'hypothèse de la non-flexibilité du toit qui suppose l'incompressibilité et l'inextensibilité de la roche; cette considération limite notablement les dimensions qu'il est possible de donner avec sécurité aux chambres et aux galeries; on perd ainsi une grande partie de la matière utile de la galerie, et il serait, dans certains cas, préférable de procéder, comme dans les mines, en allant jusqu'au fond du champ d'exploitation, en laissant derrière soi de forts massifs de soutènement et à exploiter à fond en laissant le terrain s'ébouler derrière soi, et en revenant à mesure en arrière. Ce n'est pas toujours possible pour diverses raisons, notamment parce qu'il en résulte inévitablement l'affaissement du sol.

M. Tournaire fait, dans le cours de son travail, une réflexion qui paraît mériter une sérieuse attention; il se demande si, les essais à l'écrasement étant toujours faits sur des échantillons taillés en cubes, on n'obtiendrait pas d'autres résultats en opérant sur des prismes où le rapport de la base à la hauteur différerait notablement de l'unité. M. l'ingénieur en chef de Perrodil a fait quelques expériences à ce sujet; sa conclusion semblerait être que la charge qui détermine la désagrégation d'une même matière par des fissures visibles ou invisibles est sensiblement indépendante des proportions de la base à la hauteur, mais que cependant, ce phénomène de désagrégation étant produit, les échantillons de forme basse s'écroulent moins facilement que ceux de forme haute.

Étude **sur les câbles aériens,** par M. L. BERGER, ancien élève de l'École nationale supérieure des Mines.

Il s'agit de câbles fixes aériens pour transports; la note donne les conditions d'établissement de ces câbles dans trois cas : 1° le câble amarré

en haut avec contrepoids en bas; 2° le câble amarré en bas avec contrepoids en haut; 3° le câble amarré aux deux bouts, ceci bien entendu pour les câbles destinés à remplacer des plans inclinés. Vient ensuite le cas des câbles horizontaux, c'est-à-dire ayant les extrémités au même niveau.

La note contient quelques indications sur certaines installations[1].

Note sur une **exploitation de diamants** dans la province de Minas Geraës (Brésil), par M. A. de Bovet, ancien élève de l'École nationale des mines.

Expériences relatives à la **vitesse des courants d'eau ou d'air**, susceptibles de maintenir en suspension des grains minéraux, par M. J. Thoulet, professeur à la Faculté des sciences de Nancy.

L'auteur a expérimenté au moyen d'un tube en verre disposé verticalement; on y introduit des sphères aussi parfaites que possible de rayon et de poids connus, c'est-à-dire de densité connue, et on fait passer un courant d'eau suffisant pour maintenir la sphère absolument immobile en un point fixe du tube; on recueille et on pèse l'eau écoulée pendant un temps déterminé. Il étudie successivement et représente par des courbes :

1° L'influence de la hauteur dans le tube ;
2° L'influence de la densité et du volume du corps immergé;
3° L'influence du rayon du tube;
4° L'influence de l'inclinaison du tube.

Le même mode d'expérimentation a servi pour la mesure de la vitesse de l'air capable d'entraîner des grains de dimensions et de densités connues.

COMPTES RENDUS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 6 septembre 1884.

Communication sur l'**achèvement du tunnel de l'Arlberg**, extraite du *Mining Journal*, adressée à la réunion par M. Devillard.

1. Il est bon de rappeler que c'est à un modeste praticien, Balan, qu'est due la solution pratique du problème de l'emploi des câbles fixes comme moyen de transport; un grand nombre d'appareils de ce genre avaient été établis par ce constructeur, dans les carrières des environs de Paris, de 1856 à 1860. Il avait imaginé des dispositions très ingénieuses pour les travaux de terrassement.

Description de la **Machine d'exhaure des charbonnages de Noël-Sart-Culpart (Belgique)**, extraite de la *Revue industrielle de Charleroi*.

Cette machine, d'un type nouveau, a été construite dans les ateliers de la Société de Couillet; elle est horizontale et à double effet, grande détente, condensation et rotation, et développe un travail de 200 chevaux effectifs.

Le piston à vapeur a 1^{m},10 de diamètre et 2^{m},50 de course, et commande, par un balancier d'équerre, les tirants verticaux en fer qui descendent dans le puits et actionnent les trois pompes. Celles-ci sont à double plongeur du système Rittinger, l'un droit, l'autre renversé; la section du premier, double de celle de l'autre, ce qui donne un courant continu et permet de réduire de moitié la section de la colonne montante. La course est de 1^{m},500, la hauteur des jeux est de 80 mètres; à chaque tour la machine élève 340 litres d'eau à 240 mètres de hauteur. Il y a deux volants de 16 tonnes chacun pour régulariser la rotation de la machine.

La vapeur est fournie par trois chaudières de Nayer, dont deux seulement en pression à la fois, l'autre servant de réserve.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

N° 37. — 13 *Septembre* 1884.

Vingt-cinquième réunion générale de l'Association, à Manheim.

Concours pour le chauffage et la ventilation du nouveau palais du Reichstag, à Berlin, par Herm. Fischer.

Nouvelle machine frigorifique, par R. Schöttler (*suite*).

Groupe de la Ruhr. — Introduction de la fabrication du ferro-manganèse en Allemagne. — Excursion à Schalk-Geisenkirchen.

Régulateur à action indirecte de O. Schubert.

Patentes.

Variétés. Lancements et essais de navires. — Touage à chaîne sans fin. — Le chemin de fer le plus élevé du monde. — Aide-mémoire pour la construction des chemins de fer.

N° 38. — 20 *Septembre* 1884.

Concours pour le chauffage et la ventilation du nouveau palais du Reichstag, à Berlin, par Herm. Fischer (*suite*).

Nouvelle machine frigorifique, par R. Schöttler (*suite*).

Résistance et allongement des courroies en cuir, par C. Bach.

Ponts. — Pont du Monongahela à Pittsburg. — Démolition du vieux pont suspendu sur le Niagara.

Groupe de Manheim. — Défenses contre les inondations et aménagement des eaux.

Groupe du Rhin moyen. — Gaz d'huile.

Groupe de Poméranie. — Sociétés de secours. — Règlements de service pour les mécaniciens et chauffeurs des bateaux employés à la navigation fluviale.

Patentes.

Bibliographie. — Ouvrages adressés à la Société.

Variétés. — Lancements et essais de navires. — Programme de la conférence pour l'unification des règles dans les essais à la résistance des matériaux. — Four à gaz de Rossler pour laboratoires.

N° 39. — 27 *Septembre* 1884.

Réunion générale de l'Association de Manheim.

Concours pour le chauffage et la ventilation du nouveau palais du Reichstag, à Beriin, par Herm. Fischer (*suite*).

Mines. — Perforation mécanique.

Électricité. — Lampes à incandescence.

Groupe de Bavière. — Applications techniques du papier et de la pâte de papier. — Distribution à coulisse de Pius Fink. — Chaudières à chauffage intérieur. — Distributions pour locomotives.

Groupe du Palatinat et de Saarbruck. — Dépense de vapeur d'une machine de laminoir avec distribution de précision.

Patentes.

Variétés. — Exposition des inventions à Londres en 1885. — Établissement central de distribution de force motrice par l'eau sous pression à Londres.

N° 40. — 4 *Octobre* 1884.

Compte rendu de la vingt-cinquième assemblée générale de l'Association, à Manheim.

Concours pour le chauffage et la ventilation du nouveau palais du Reichstag, à Berlin, par Herm. Fischer (*suite*).

Influence de la pression atmosphérique sur le dégagement de grisou dans les mines, par le docteur Gurlt.

Ponts. — Résistance des ponts. — Résistance des barres métalliques à la compression. — Poutres continues. — Pont de chemin de fer sur l'Isar. — Tabliers pour ponts métalliques. — Viaduc pour le chemin de fer régional en Würtemberg. — Chute d'un pont de chemin de fer. — Démo-

lition d'un ancien pont suspendu pour chemin de fer sur le Danube. — Règles à adopter dans les marchés pour la fournitures des constructions métalliques.

Groupe de Brunswick. — Assemblée constitutive. — Proportions des arbres coudés. — Explosion de chaudières.

Groupe de la haute Silésie. — Visite aux houillères Reine-Louise à Zabrze. — Machines hydrauliques souterraines. — Ateliers de triage.

Patentes.

Bibliographie. — Ouvrages adressés à la Société.

N° 41. — 11 *Octobre* 1884.

Compte rendu de la vingt-cinquième assemblée générale de l'Association, à Manheim (*suite*).

Concours pour le chauffage et la ventilation du nouveau palais du Reichstag, à Berlin, par Herm. Fischer (*fin*).

Influence de la pression atmosphérique sur le dégagement du grisou, par le Dr Gurlt (*suite*).

Groupe de Saxe. — Éclairage par lampes à arc de la filature de H. Dietel, à Wilkau. — Exploitation du pétrole dans le nord de l'Allemagne. — Distribution de vapeur à New-York.

Patentes.

Bibliographie. — Annuaire de technologie chimique du Dr F. Fischer. — Ouvrages adressés à la Société.

Variétés. — Exposition d'outils et d'appareils pour travail manuel à Dresde. — Lancements et essais de navires. — Établissement d'essais à Berlin. — Résistance des fils de fer et d'acier galvanisés. — Distribution d'électricité à Berlin. — Câbles télégraphiques souterrains. — Fabrication des ciments en Allemagne.

N° 42. — 18 *Octobre* 1884.

Étude des machines à deux et trois cylindres par le calcul et par tracé graphique, par R. Werner.

Influence de la pression atmosphérique sur le dégagement du grisou, par le Dr Gurlt (*fin*).

Conférence sur l'unification des règles pour les essais de résistance des matériaux.

Expériences d'indicateur et de consommation des machines de la minoterie et manutention de Hausen, par F. Koester.

Groupe de Hanovre. — Chauffage et ventilation du Palmengarten à Hanovre. — Influence de l'emploi des machines, de la grande industrie et des grands ateliers sur la situation des professions ouvrières.

Groupe de Würtemberg. — Fabrique de faux de Haneisen et fils. — Scierie et fabrique de parquets de Krauth et Cie. — Fabrique de pâte de

bois et de papier de Lemppenan et Cie. — Passerelle mobile sur les de la gare d'Esslingen.

Patentes.

Variétés. — Lancements et essais de navires.

N° 43. — 25 *Octobre* 1884.

Frein restituteur Marneffe pour voitures de tramways, par A. Raven.

Contribution à l'emploi de la statique graphique pour le calcul fermes, par B. Kirsch.

Chemins de fer. — Voitures à voyageurs. — Frein Heberlein.— Gare triage.

Constructions navales. — Dock flottant.

Groupe de Francfort. — Ports militaires. — Canalisation du Mein en Francfort et Mayence.

Groupe de Saxe. — Accumulateurs.

Patentes.

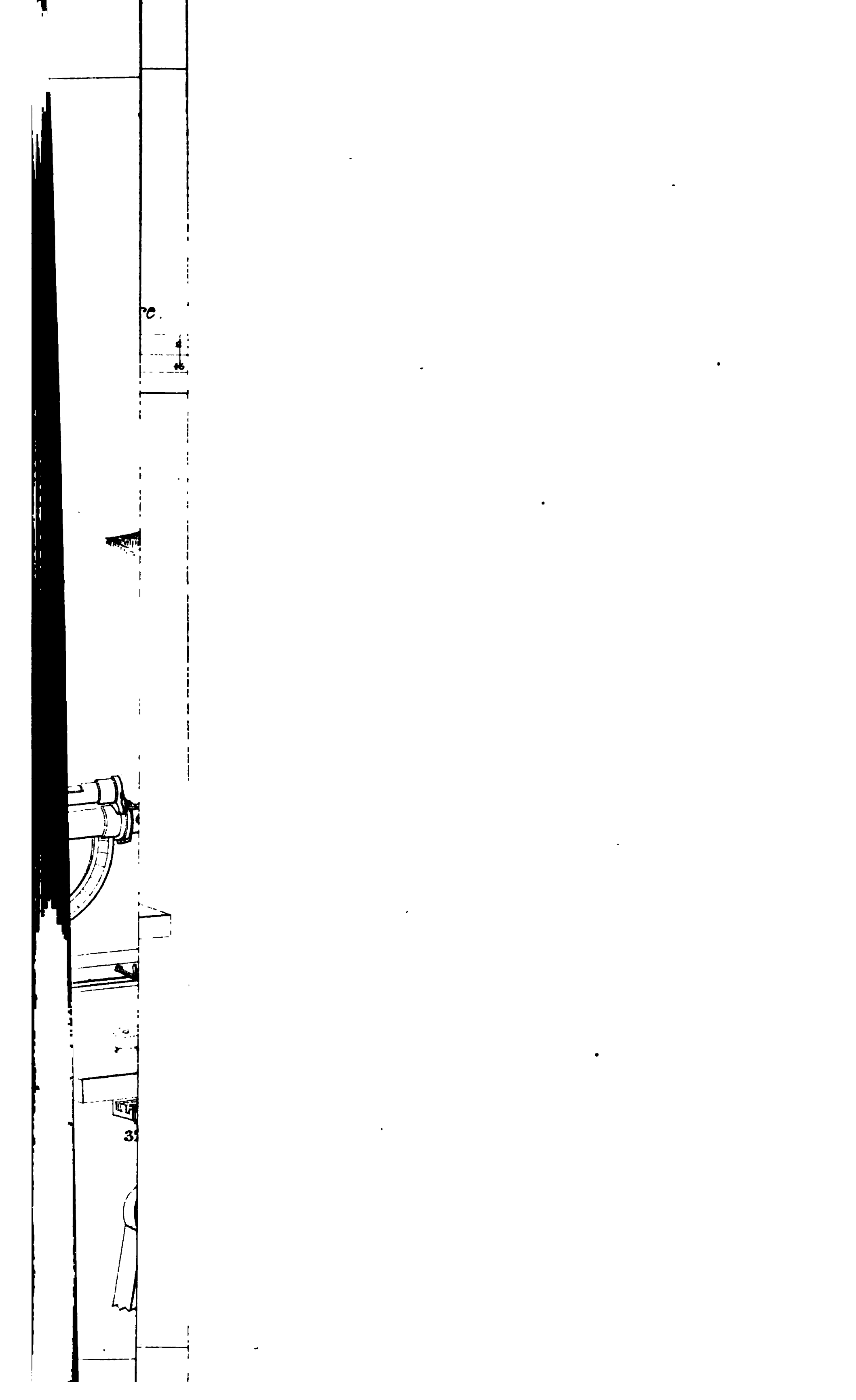
Bibliographie. — Aide-mémoire de l'ingénieur de L. Franzius E. Sonne.

Correspondance. — Machines de laminoirs avec distribution de précision. — Transport du charbon par mer.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

NOVEMBRE 1884

N° 11

Pendant le mois de novembre, la Société a traité les questions suivantes :

1° *Inauguration de la nouvelle École centrale* (séance du 7 novembre, page 446).

2° *Port de la Réunion* (*Travaux du*), par M. Fleury (séance du 7 novembre, page 447).

3° *Marteau-presse ou pilon hydraulique*, lettre de M. Benoît-Duportail (séance du 21 novembre, page 456).

4° *Sociétés coopératives* (*De la participation des employés aux bénéfices et sur les associations ouvrières en France*), par M. Édouard Simon (séance du 21 novembre, page 457).

5° *Machines à vapeur* (*Résultats d'expériences sur les*), par MM. Bronne et Quéruel (séance du 21 novembre, page 458).

Pendant le mois d'octobre, la Société a reçu :

De M. Camus, éditeur, un exemplaire de la *Mécanique pratique à la portée de l'ouvrier mécanicien.*

De M. B. Baker, un exemplaire de sa brochure intitulée : *The Forth Bridge.*

De M. Chelu. membre de la Société, un exemplaire du rapport présenté par les commissaires des Domaines de S. A. le khédive à l'appui du *Compte définitif des recettes et des dépenses de l'exercice de* 1882 (*administration des domaines de l'État Égyptien*).

Un exemplaire du projet d'*Exposition universelle à établir sur les terrains de Saint-Ouen, Asnières, île Saint-Denis et Gennevilliers,* présenté par M. Berthoud, maire de Saint-Ouen, et dressé par MM. Bernardet, ingénieur, et Joly, architecte.

De l'*American Institute of Mining Engineers* un exemplaire d'un ouvrage intitulé : *Memorial of Alexander Lyman Holley G. E. LL. D.*

De M. Goupil, un exemplaire de son étude sur la *Navigation aérienne.*

De M. H. Fontaine, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Électrolyse, renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité.*

De M. G.-J. Wagner, ingénieur, un exemplaire de son mémoire intitulé : *Die Bezichungen der Geolorie zu den ingenieur wissenschaflen.*

De M. Wagner, chef de bataillon du génie, un exemplaire de sa brochure sur des *Méthodes de levers en usage à la brigade topographique et de. l'emploi d'un nouvel instrument appareil homolographique,* de MM. Peaucellier et Wagner.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Burgart,	présenté par	MM. Goschler, Gottschalk et Seyrig.
Corthell,	—	Hutton, L. Martin et Sorzano.
Durand,	—	Appert, Aulanier et Clémandot.
Ferrand,	—	Letrange, L. Martin et Martin.
Huguet,	—	Géneste, Liébaut et Périssé.
Koning (de).	—	Brichaut, Martin et Tresca.
Lefer.	—	Armengaud, E. Garnier et Lecouteux.
Pinheiro.	—	Carimantrand, Franck de Préaumont et Mallet.
Pollok.	—	Bouvard, Charbonnier et Love.
Ribbius.	—	Brichaut, L. Martin et Tresca.
Roufosse.	—	Regnard, Rocaché et Taillard.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1884

Séance du 7 Novembre 1884.

PRÉSIDENCE DE M. DE COMBEROUSSE, *Vice-Président*.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, j'ai le regret de vous apprendre que c'est à la maladie de M. Martin que je dois l'honneur de présider cette séance, mais je puis vous annoncer que sa santé est heureusement en meilleure voie. J'espère bien que, dans quinze jours, il pourra nous présider, et nous le reverrons avec le plus grand plaisir.

Le procès-verbal de la séance du 17 octobre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de M. de Bracquemont, administrateur et ancien directeur, ingénieur en chef des mines de Vicoigne-Nœux; de celui de M. Knight, ingénieur à la Compagnie de construction des Batignolles; et de celui de M. Wahl, ancien ingénieur à la Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

M. LE PRÉSIDENT annonce la nomination de M. Denfer, l'architecte de la nouvelle École centrale, comme chevalier de la Légion d'honneur.

Je pense que nos collègues prendront plaisir à visiter la nouvelle École centrale et rendront justice aux nouveaux aménagements et au talent que M. Denfer a montré dans cette construction. On sait qu'elle a été terminée en un an et demi et au jour fixé. C'est un fait assez rare que les architectes arrivent à livrer un bâtiment le jour même qui avait été indiqué. M. Denfer a pu remettre les bâtiments de la nouvelle École centrale le 2 novembre au soir; il n'y avait plus d'ouvriers, et la cérémonie d'inauguration a pu avoir lieu dans les meilleures conditions. Les ouvriers sont revenus le lendemain,

bien entendu, parce qu'il y a toujours des détails à terminer, mais enfin ce travail a été accompli en un an et demi, dans des conditions très satisfaisantes et qui font honneur à M. Denfer et à ses collaborateurs, comme le ministre l'a dit dans son discours.

M. Fleury a la parole pour présenter au nom de M. Joubert et au sien, un exposé des travaux du port de la Réunion.

M. Lavalley. Messieurs, un mot d'abord, si vous voulez bien me le permettre. Notre collègue et ami, M. Molinos et moi, nous avons été chargés, comme quelques-uns de vous le savent, de l'exécution d'un chemin de fer et d'un port à la Réunion. Je m'empresse de vous dire que, pour l'exécution de ces importants travaux, les principaux collaborateurs qui y ont pris part, sont des membres de la Société des Ingénieurs civils. Ces travaux seront bientôt complètement terminés; nous comptons bien, M. Molinos et moi, fidèles à nos habitudes, venir vous entretenir un jour en détail de leur ensemble.

Le chemin de fer est terminé et en exploitation depuis deux ans et demi; les travaux du port sont très avancés, et il sera livré à l'exploitation dans quelques mois; à la fin de l'année prochaine il sera certainement complètement terminé.

La direction des travaux du port a été, dès l'origine, confiée à deux membres de cette Société, M. Joubert, ingénieur principal, et à M. Fleury son adjoint : c'est avec leur concours que nous avons étudié les principales dispositions des appareils importants que nous avons dû employer pour l'exécution du port. Ce sont ces Messieurs qui, en 1877, sont allés à la Réunion installer les ateliers, rassembler le personnel, recevoir le matériel construit en France, l'ont monté, mis en marche, et ont porté tout le fardeau, tout le poids de ces débuts. Sous leur direction, les jetées — et vous verrez au prix de quelles peines, quels soucis — les jetées ont été construites et sont terminées, la première depuis trois ans, la seconde depuis deux ans, les terrassements au-dessous de l'eau achevés, les dragages à moitié faits, les magasins construits.

Ces Messieurs sont restés six ans là-bas. Si leur santé fatiguée, si des devoirs de famille les ont forcés à rentrer en France et leur ont refusé la satisfaction d'avoir accompli complètement leur œuvre, je dois dire qu'ils l'ont amenée à un tel point d'avancement qu'il n'y avait plus qu'à suivre leurs errements, à continuer ce qu'ils avaient fait; on peut dire qu'ils avaient accompli l'œuvre à laquelle ils ont consacré tant d'années, tant de soins et tant de soucis.

Ces Messieurs m'ont exprimé le désir de vous entretenir, dès à présent, de ces travaux; nous les avons vivement encouragés à le faire; nous croyons que nous avons employé là des moyens, des procédés qui pourraient être utiles à d'autres, à vous, Messieurs; nous avons pensé, M. Molinos et moi, que nous ne pouvions qu'encourager ces Messieurs à vous communiquer les moyens à l'aide desquels les travaux ont été exécutés et les résultats

auxquels on est arrivé. Je crois que, quand vous aurez entendu leur communication, vous reconnaîtrez, comme nous, que nous avons eu en eux des collaborateurs aussi actifs, aussi dévoués qu'intelligents; vous reconnaîtrez, comme nous, qu'ils sont de dignes membres de notre laborieuse Société.

(La communication de M. Fleury devant être reproduite *in extenso* dans le Bulletin, nous n'en donnons ici qu'une analyse.)

M. Fleury expose d'abord qu'à la suite des études faites en 1874 par M. Lavalley et par M. Blondel, membre de la Société, aujourd'hui encore directeur des travaux du chemin de fer et du port de la Réunion, on s'arrêta définitivement à l'idée de construire le port dans la plaine des Galets, par les motifs suivants :

La position à la partie occidentale de l'île assurait un abri, à la fois contre les grands alizés et contre les cyclones. Les alizés, qui soufflent pendant six mois de l'année avec une grande violence, viennent du sud-est, ils rendent la tenue des rades très difficile sur toute la partie de l'île soumise à leur action; souvent même les navires sont obligés de dérader, abandonnant chaînes et ancres. Les massifs montagneux de l'intérieur en préservent absolument la région de la plaine des Galets. Il en est de même pour les cyclones de la saison d'hivernage qui attaquent presque toujours l'île à l'est-nord-est, c'est-à-dire à l'opposé de la plaine des Galets.

En second lieu, la fixité de la plage, composée de matériaux relativement stables, l'accore de sa partie sous-marine conduisant rapidement les alluvions dans les grands fonds éloignent la crainte des ensablements. Enfin, par sa position centrale sur le chemin de fer, il offre plus d'avantages qu'aucun autre pour la rapide expédition des marchandises.

M. Fleury, en son nom et au nom de M. Joubert, ne veut parler que des travaux du port. Il énumère rapidement les principaux ouvrages du chemin de fer, et laisse à ceux qui les ont construits le soin et l'honneur d'en entretenir la Société.

Le port comprend une entrée formée de deux jetées en arc de cercle, de 250 mètres de rayon, laissant une ouverture de 100 mètres entre leurs musoirs qui s'avancent jusque près des fonds de 15 mètres. Vient ensuite un grand bassin d'avant-port et des bassins intérieurs destinés aux opérations commerciales, pourvus d'appontements, de grues, de voies ferrées qui relient les quais au chemin de fer. La superficie totale est de 16 hectares et va bientôt être portée à 18.

M. Fleury signale les précautions prises pour éviter toute agitation dans l'intérieur de ces bassins. Il fait encore remarquer que leur agrandissement successif au fur et à mesure des besoins peut se faire de la façon la plus économique et la plus prompte.

Entrant ensuite dans la description des procédés d'exécution, il retient

un instant l'attention de la Société sur les appareils de dragage et de transport des déblais employés.

Il signale le large emploi qui a été fait de l'acier dans leur construction, à une époque où l'acier avait encore quelque peine à se faire adopter par la plupart des constructeurs.

M. Fleury passe ensuite à la description des jetées et des moyens employés pour en assurer la solidité et la résistance.

La partie sur l'estran comprend une amorce en béton pilonnée de 11 à 14m,50 de large sur 2 mètres d'épaisseur. A partir de la ligne d'eau, la jetée est composée de blocs artificiels en béton de ciment. Ces blocs sont disposés en appareil régulier et par tranches inclinées indépendantes. En même temps ils atteignent des dimensions considérables ; ceux qui forment le couronnement pèsent de 105 à 115 tonnes.

M. Fleury insiste sur ces deux points : appareillage régulier par tranches inclinées indépendantes et grandes dimensions des blocs, qui sont les deux traits caractéristiques de ce nouveau type d'ouvrages.

Il démontre que la résistance à la lame en est singulièrement accrue, et les photographies toutes récentes qu'il met sous les yeux des membres de la Société permettent de s'assurer que, depuis leur construction, les jetées du port de la plaine des Galets sont restées inébranlables.

M. Fleury entre ensuite dans quelques détails sur les procédés de fabrication, de transport et de mise en place des blocs. Il s'arrête spécialement sur la description de l'appareil de mise en place des blocs qui, par une réminiscence mythologique assez appropriée, a reçu le nom de *Titan*.

Cet appareil se compose essentiellement d'une poutre formée de deux flasques en treillis reliées par des entretoises. Cette poutre peut recevoir un mouvement de translation en avant ou en arrière ; elle peut être soulevée sur un pivot unique, au moyen d'une forte presse hydraulique et, dans cette position, être orientée suivant une direction quelconque, qui permet d'amener au point précis le bloc même le plus lourd, que tient suspendu un charriot à treuils roulant sur la partie supérieure de la poutre.

Le poids total de l'appareil et du bloc peut atteindre 550 tonnes, et cependant le soulèvement de cette énorme masse se fait avec une facilité et une précision singulières. La stabilité, dans toutes les positions que peut occuper le bloc n'est pas moins assurée.

M. Fleury signale à la Société la facilité et l'économie de manœuvres de cet appareil.

Il termine enfin sa communication en rappelant brièvement que la création du port de la Pointe des galets aura pour résultat de donner la sécurité à la navigation, à la colonie un instrument précieux pour ses échanges et son commerce, à notre flotte un point de ravitaillement.

M. Fleury. — Messieurs, voulez-vous me permettre, en terminant, d'accomplir un devoir.

Dès le premier jour de leur mise en marche, les appareils que je viens d'essayer de vous décrire ont fonctionné avec une absolue régularité.

La perfection de la construction et du montage était telle qu'il n'y a rien eu à retoucher, rien à modifier, que l'entretien a été réduit à des proportions minimes. Eh bien, messieurs, lorsque, à 3,000 lieues de l'Europe, à 3,000 lieues de tout atelier, à 3,000 lieues d'un conseil, d'un aide, aux prises avec un travail délicat et difficile comme celui dont je viens d'avoir l'honneur de vous entretenir, on est secondé par des engins qui ne trompent pas vos espérances, sur lesquels on voit tout de suite qu'on peut compter, le sentiment qu'on éprouve pour ceux qui les ont construits est un véritable sentiment de reconnaissance. Nous vous demandons la permission de saisir l'occasion qui se présente pour payer un tribut de reconnaissance personnelle aux habiles ingénieurs qui ont construit ces appareils, aux ingénieurs de Fives-Lille. (Applaudissements.)

M. le Président. M. Lavalley nous a promis de prendre la parole. Si personne n'a d'observation à faire, je vous demanderai la permission de remercier auparavant M. Fleury de sa très intéressante communication. Elle est intéressante à double titre : d'abord par sa nouveauté comme emploi de moyens mécaniques, M. Fleury vient de nous les décrire avec une grande compétence. Mais, il y a un second point : c'est que cette île de la Réunion est de la plus haute importance pour la France, surtout depuis qu'elle a été séparée de sa sœur, de l'île de France que je ne m'habituerai jamais à appeler l'île Maurice, et que je continuerai toujours à appeler l'île de France.

Aujourd'hui, avec l'expédition de Cochinchine et les intérêts que nous avons au Tonkin, il est important de faire du port de la Réunion, non seulement un port de commerce, mais un port qui puisse servir à ravitailler nos escadres. Comme vous le savez, les habitants de l'île de la Réunion viennent de former deux compagnies de volontaires pour défendre notre drapeau à Madagascar; je crois qu'il y a aujourd'hui 400 hommes de l'île de la Réunion qui défendent le drapeau français à Madagascar : tout cela doit bien nous disposer en faveur de notre chère colonie, qui montre par son dévouement qu'elle est la France même à 3,000 lieues.

J'ajoute que M. Molinos nous a promis de revenir sur la question du chemin de fer, qui le regarde plus spécialement; il nous donnera des détails d'un grand intérêt sur cette question; je lui donne rendez-vous ici pour entretenir la Société de ces beaux travaux.

M. Lavalley. Si vous avez un peu de temps à m'accorder, je pourrai entrer dans quelques détails sur les dispositions générales du projet de port dont les moyens d'exécution viennent de vous être décrits. Voyons maintenant comment le problème se posait.

En jetant un coup d'œil sur la carte de la Réunion, vous voyez qu'il n'y a autour de l'île ni une seule anse, ni une crique où les navires puissent se réfugier en cas de mauvais temps, où s'abriter des houles incessantes des mers australes. L'île est partagée en deux parties par un massif montagneux, qui a moyennement de 600 à 800 mètres de hauteur et dont quel-

ques pics atteignent jusqu'à 3,300 mètres. Ce massif finit en pente douce au sud-est, où se trouve un volcan qui, aujourd'hui encore, a de temps à autre des éruptions. Les parties hautes de ces montagnes sont couvertes de bois à peine accessibles. Il n'y a de culture que sur les pentes et le littoral. Cette partie cultivée forme autour de l'île une zone bien tranchée. Elle commence à l'est, se continue par le nord et l'ouest et vient au sud aboutir à Saint-Pierre. De Saint-Pierre jusqu'aux épanchements du volcan, il y a encore quelque culture, mais moins intense.

De même que la culture, la population, le mouvement commercial sont concentrés sur la côte, au pied des pentes.

Le massif montagneux, très élevé, abrupt, déchiré par des ravins et des précipices, est pratiquement infranchissable, pour d'autres que de hardis touristes. Il s'oppose à toute communication directe entre les deux versants.

Les relations des habitants de la partie occidentale avec ceux de la partie orientale ne pouvaient se faire que par mer, de Saint-Denis à la Possession, pour doubler une haute falaise de basalte, puis de la Possession jusqu'à Saint-Pierre, par une route circulaire, qui passait dans le lit des torrents et se trouvait par suite interrompue à la moindre crue.

Voilà pour les relations. Comment se faisait le commerce maritime? Les bâtiments qui arrivaient pour déposer les marchandises et pour opérer leur chargement se dirigeaient vers un des quartiers pour lesquels ils étaient affrétés. Ils mouillaient en rade, absolument découverts, ils déchargeaient sur des allèges les marchandises que l'on portait à terre. Cette opération est très difficile à cause du régime auquel ces mers sont soumises. Au tropique sud, en effet, pendant la saison correspondant à notre été, les alizés règnent sur l'île de la Réunion; ils ont une direction sud-sud-est, et, pendant trois mois, ils soufflent en grande brise. Ces grandes brises agitent les rades et rendent les chargements et les déchargements des navires difficiles. Outre cette agitation produite par les vents alizés, il y a les raz de marée. Ce sont de grandes ondes qui viennent brusquement déferler sur la côte et en interdisent l'approche. Ils sont très fréquents pendant les mois de mai, juin, juillet, août et septembre. Ils ne s'annoncent par aucun changement de l'aspect du ciel, par aucun mouvement barométrique : on voit seulement la mer se gonfler, c'est-à-dire qu'on voit se former une houle longue, ne déferlant pas tant qu'elle oscille dans les grands fonds, et un navire mouillé à faible distance du rivage n'en ressent qu'un mouvement de roulis assez doux; mais tout près du rivage, dans les fonds de 4 à 5 mètres, cette onde brise avec une violence telle qu'elle monte à une hauteur égale et quelquefois supérieure à celle à laquelle monte la mer, pendant les fureurs des cyclones les plus violents. Les navires qui viennent charger ou décharger et faire leurs opérations pendant la saison des alizés perdent par suite beaucoup de temps : les communications avec la terre sont très souvent interrompues, et la durée moyenne de déchargement d'un navire de 400 tonneaux est de 75 à 80 jours. C'est une grosse charge pour le com-

merce. Pendant l'autre saison, on est dans une période qui serait celle du calme, si elle n'était troublée par l'arrivée des cyclones dont les tourbillons ont souvent plusieurs centaines de milles de diamètre. Ces météores sont animés d'un double mouvement : un mouvement de translation suivant une trajectoire parabolique, un mouvement de rotation autour d'un axe vertical. — La trajectoire des cyclones de cette saison d'hivernage est presque toujours dirigée du nord-nord-ouest au sud-sud-ouest. Le mouvement de rotation dans l'hémisphère austral est direct : c'est-à-dire dans le même sens que celui des aiguilles d'une montre. On s'explique bien comment différentes parties de la Réunion sont plus tourmentées que d'autres par les cyclones. C'est, en effet, au nord-nord-est que l'île reçoit les premières atteintes des cyclones, qui s'annoncent sur ce point par des rafales d'est-sud-est, tandis qu'à l'extrémité opposée de l'île, dans la région occidentale, on ne reçoit que les vents du sud-ouest, déjà affaiblis par la résistance que leur a opposée le massif montagneux de l'intérieur.

Quand arrive le cyclone, il est toujours annoncé au moins quarante-huit heures d'avance par une forte baisse du baromètre ; le ciel prend un certain aspect, la mer s'agite, et tous ces signes ne trompent pas les marins expérimentés. Voici alors ce qui se passe : quand un cyclone doit venir, le capitaine de port en résidence à Saint-Denis envoie l'ordre sur toutes les rades de donner le signal : attention. A ce signal, les capitaines de navire doivent rallier leur bord et être prêts à appareiller. Quand on est assuré qu'on a affaire à un cyclone, on envoie l'ordre d'appareiller, et il faut absolument appareiller sur l'heure. On abandonne chaînes et ancres et on gagne le large. Si un capitaine se laisse prendre par le cyclone dans le voisinage des terres, son navire est brisé, et, dans ce cas-là, il s'expose à perdre tout droit à l'assurance.

Au large, les navires trouvent plus ou moins de sécurité et reviennent quand ils peuvent; mais malheusement ils ne reviennent pas toujours, et ceux qui reviennent ont éprouvé des avaries plus ou moins graves : leurs équipages ont enduré des souffrances, des fatigues, des privations de toute sorte. J'ai entendu raconter par un ancien gouverneur de la Réunion qu'il n'y avait rien de plus pénible que de signer l'ordre d'appareiller. Quand il en était réduit à cette nécessité, il se disait : combien d'hommes vont s'en aller, et combien ne reviendront pas.

Telle est donc la situation du commerce et de la marine sur les côtes de la Réunion, et ces quelques mots suffiront à vous faire sentir combien un port y est nécessaire. Ce port, il fallait le faire non pour une localité déterminée, mais pour la colonie tout entière. Il devait donc être situé à peu près au milieu de la zone cultivée. La pointe des Galets, que décrivait tout à l'heure M. Fleury, se présentait bien sous ce rapport.

Au point de vue marin, elle offrait également des avantages parce que le massif montagneux de l'intérieur l'abrite et que les alizés ne s'y font jamais sentir; à peine y éprouve-t-on quelques remous de vent, des brises folles peu intenses.

De même, les cyclones arrivant d'abord à l'autre extrémité de l'île, se font sentir à la pointe des Galets tardivement et avec une intensité affaiblie. On y est averti de leur arrivée dix-huit à vingt-quatre heures à l'avance, et on peut prendre les précautions nécessaires en pareil cas. C'est une sorte de loi, comme vous le voyez, dans toutes ces mers que les rivages tournés vers le couchant sont mieux abrités que les autres. C'est tellement vrai que l'île de France qui a deux ports, le port Louis et le grand port, ne voit fréquenter que le port Louis, qui est ouvert à la pointe ouest, et non pas celui qui est ouvert de l'autre côté. Ainsi, au point de vue commercial et au point de vue nautique, la pointe des Galets se trouve indiquée pour l'emplacement du port. Comment se présentait la question pour l'ingénieur ? Là, on trouvait un plateau formé d'un alluvion meuble de gravier, de sable et des galets seulement à la surface, ou du moins, dans l'examen que nous avons fait, nous ne trouvions des galets qu'à la surface. Le terrain est à une hauteur de 7, 8 et 9 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette situation offrait un avantage, c'est que, dans les bassins, les corps des navires se trouvaient abrités par la hauteur du terrain contre l'effet du vent. Restait la plage. Si la pointe des galets s'était trouvée terminée par une plage très douce, on aurait pu craindre des obstructions, des ensablements comme ceux dont on ne peut pas débarrasser nos ports de la Manche, depuis Dunkerque jusqu'à Cherbourg. Mais ici les conditions ne sont plus du tout les mêmes : la plage est très abrupte, les fonds de 25 mètres se trouvent à 120 ou 125 mètres du rivage, et, à partir de ce point, les fonds tombent rapidement. Alors, je me disais : avec des jetées de faible longueur, nous arriverons tout près des grands fonds, tout près de ces fonds à partir desquels les talus sont tellement abrupts, que les galets ou le sable ne peuvent plus s'y déposer, et tombent dans le fond. C'est la tenue naturelle de ces terrains-là. On pouvait arriver à ces profondeurs-là, amener les musoirs tout près de ces grands fonds avec une faible dépense, puisque, à 100 mètres du rivage, on trouvait des fonds de 12 à 15 mètres. Ces jetées courtes avaient un autre avantage. On sait que, dans les grands coups de vent, les lames qui, au large, suivent à peu près la direction du vent, tout près de terre, battent presque parallèlement au rivage; et alors, des jetées courtes de 100 à 110 mètres de long reçoivent les lames en pointe; les lames se divisent à droite et à gauche du musoir et n'attaquent pas violemment la jetée. Si, au contraire, il faut faire une jetée longue, si quelquefois il faut faire des jetées parallèles au rivage pour enceindre une partie de la plage, la jetée peut être battue en travers par la lame, et c'est dans ce cas-là que tant de jetées ont été emportées. Mais, quand on peut avoir, comme ici, une jetée très courte, on peut être tranquille et n'avoir aucune crainte. Nous avons construit ces jetées courtes, et elles arrivent jusque dans les fonds de 15 mètres : elles ont reçu les épreuves du cyclone, et aucune avarie ne leur est arrivée. Nous disions tout à l'heure que, par suite de la construction des jetées, on pouvait avoir des ensablements; comment peuvent-

ils se produire? A la pointe des Galets il y a des raz de marée dont les lames battent parallèlement au rivage, et il y a peu de courants. Cependant, il y a ici un courant du sud au nord; les galets peu volumineux et les sables soulevés par le raz de marée atteignent la jetée et font un atterrissement. Cet atterrissement redresse nécessairement le talus de la plage, et ce talus vient se confondre, vers le fond de 25 mètres, avec le talus naturel et vient jusque dans les grands fonds, et alors, les graviers, sables, apports qui viennent du sud, cheminent vers le nord et arrivent à produire un atterrissement derrière la jetée. Ces apports restent donc dans les grands fonds et ne vont pas dans le chenal. Telle est la théorie que la pratique nous a confirmée. La jetée sud a été terminée à la fin de 1881; la jetée nord est terminée depuis 1882. Depuis 1881, nous avons pu mesurer les apports qui sont venus sur le prolongement du chenal, et nous n'avons trouvé aucun apport, depuis 1877, en avant des musoirs. Entre les musoirs, nous n'avons trouvé qu'un apport de 10 à 12,000 mètres cubes par an; et, si je pouvais entrer dans le détail des opérations et des travaux que nous avons exécutés pour constater l'importance de ces apports, vous arriveriez comme moi à la conviction que les apports qu'on pourra relever entre les musoirs ne dépasseront pas 25,000 mètres cubes par an. Ces apports absolument mobiles ne constituent pas une charge onéreuse pour l'exploitation. Vous voyez donc que l'intérêt du commerce fait choisir le port de la pointe des Galets comme étant central et situé au milieu de la zone cultivée. Ce choix est également approuvé par les marins. Comme ingénieurs, nous trouvions un plateau en talus où nous pouvions creuser le port et la place nécessaire pour le développement des accessoires de ce port; nous trouvions une plage abrupte qui nous assurait contre les ensablements qui pouvaient se produire dans le chenal. A tous ces points de vue, la pointe des Galets était donc le meilleur emplacement que l'on pût choisir pour l'établissemeut d'un port.

Je vous demande pardon, Messieurs, de ce qu'il peut y avoir d'incomplet dans ces descriptions, assez difficiles, faites à l'improviste, et pour la clarté desquelles il eût été utile, si j'avais pu le faire, de préparer à l'avance quelques dessins.

M. le Président. Je remercie M. Lavalley d'avoir bien voulu nous donner son opinion sur le port de la pointe des Galets.

Tout à l'heure, en remerciant M. Fleury, j'ai oublié de remercier M. Joubert : la communication que vous venez d'entendre est faite par ces deux ingénieurs; M. Fleury a pris la parole, mais nous devons remercier aussi M. Joubert, dont il est le collaborateur; je me reprocherais de l'avoir oublié.

MM. Corthell, Durand, Ferrand, de Koning, Lefer, Pollok, Ribbius et Roufosse ont été admis comme membres sociétaires.

La séance est levée à dix heures un quart.

Séance du 21 Novembre 1884.

Présidence de M. de Comberousse, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à neuf heures.

M. le Président. Messieurs, nous avons à vous demander pardon; nous arrivons très tard, c'est qu'il y a eu ce soir des questions importantes à débattre au Comité. Les séances du Comité commencent à huit heures pour se terminer à huit heures et demie : cela gêne quelquefois, et, aujourd'hui, c'était insuffisant. Il s'agissait notamment d'établir la table des matières des travaux de la Société. Nous y apportons tous nos soins, nous tâchons de la faire le mieux possible pour la mettre à votre disposition, et ce travail rendra certainement de grands services aux membres de la Société, quand il sera terminé. Vous nous excuserez donc de vous avoir fait attendre l'ouverture de la séance.

Le procès-verbal de la séance du 7 novembre est adopté.

M. le Président. J'ai le regret d'annoncer à la Société les décès de MM. Lartigue (Henry) et Vandel.

Messieurs, avant de donner la parole à M. le secrétaire pour la lecture d'une lettre de M. Benoît-Duportail à notre Président, permettez-moi une observation. Vous avez dû remarquer, à la fin du Bulletin, avant l'ordre du jour, un avis priant tous les membres de la Société de vouloir bien examiner les corrections ou modifications à faire à notre Annuaire : on est en train d'en préparer la réimpression, et nous voulons le faire exact et complet, autant que possible. Pour cela, nous avons besoin du concours de tous nos collègues. Nous les avons donc priés d'examiner l'Annuaire, de manière à envoyer les corrections ou additions le plus tôt possible au Secrétariat; et, pour rappeler à tous les membres de la Société ce qui est presque un devoir, M. le secrétaire voudra bien leur envoyer une circulaire, afin que notre Annuaire soit digne de notre Société et rende tous les services qu'il peut rendre.

Il est donné lecture d'une lettre de M. Benoît-Duportail, relative à une note de M. Boutmy publiée dans le Bulletin d'août 1884.

« Monsieur et cher Président,

« La notice très intéressante que notre collègue M. G. Boutmy vient de publier dans notre Bulletin d'août sur « François Bourdon et le marteau-pilon » contient, pages 157 et 158, une erreur que je dois rectifier.

« M. Boutmy croit, d'après les renseignements qu'il possède, que c'est M. François Bourdon qui a inventé en 1862 le *marteau-presse* ou *pilon hydraulique*.

« Il me suffira de rappeler que j'ai lu à la Société, dans la séance du 19 novembre 1858, une note, dont je joins ici quelques exemplaires « sur « l'application de la presse hydraulique à la fabrication du fer et aux tra- « vaux de forge et de chaudronnerie en général. »

« J'avais déjà pris depuis le 12 juin 1857 un brevet d'invention pour cette application.

« C'est à la suite de quelques essais de soudage que j'ai faits aux ateliers des chemins de fer de l'Ouest à Batignolles que je vous ai présenté ma note du 19 novembre 1858.

« Par conséquent, j'ai environ cinq ans de priorité sur M. Bourdon.

« J'ajouterai que, en 1858 et 1859, M. Gargan a fait pour la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée un nombre considérable d'armatures en tôle de tampons secs dont l'emboutissage aurait été excessivement difficile par tout autre moyen et qu'il a embouti par le même procédé pour la compagnie du gaz des portes de cornues d'une exécution également difficile.

« J'ai indiqué dans mon brevet du 12 juin 1857 et dans ma communication à la Société que : « pour triompher de la lenteur de l'appareil, il con- « vient de faire usage d'un réservoir supérieur qui, au moyen d'un tuyau « d'un très gros diamètre, remplisse promptement le corps cylindrique et « amène le piston en contact avec la pièce à forger ou à emboutir ; il con- « viendra ensuite d'opérer la pression au moyen d'une pompe marchant « mécaniquement. »

« Bien que diverses circonstances m'aient empêché de donner suite à ces applications de la presse hydraulique, il résulte d'une manière incontestable de mon brevet du 12 juin 1857 et de la communication que j'ai eu l'honneur de faire à la Société le 19 novembre 1858 que c'est bien à moi que revient la priorité de cette invention qui, j'en suis convaincu, amènera de grands progrès dans la forge et la chaudronnerie.

« Je vous prie, monsieur le Président, de vouloir bien donner communication de la présente lettre à la Société et de la faire insérer au compte rendu.

« Agréez, je vous prie, mon cher Président, etc.

« A. C. Benoit-Duportail. »

M. Mayer. Ne pourrait-on pas, avant l'insertion au Bulletin, demander l'avis de M. Boutmy?

M. Benoit-Duportail. J'ai écrit à M. Boutmy; je lui ai envoyé duplicata de la lettre que j'ai remise à M. le Président. J'espérais qu'il serait à la séance.

M. le Président. M. Benoît-Duportail a envoyé à M. Boutmy copie de la lettre dont on vient de donner lecture; on a donc agi avec toute la courtoisie désirable. M. Boutmy a le droit d'y répondre, s'il le désire. La Société n'est pas en cause; elle n'est pas solidaire de l'opinion de ses membres. M. Benoît-Duportail a fait une communication à la Société en 1858, je crois que nous ne pouvions pas faire autrement que de donner hospitalité à sa lettre dans le Bulletin. M. Boutmy répondra s'il le veut, mais aucune discussion ne s'établira. M. Édouard Simon a la parole pour sa communication.

M. Édouard Simon donne communication d'un travail qui peut être considéré comme la suite et le complément de ses précédentes études sur les sociétés coopératives anglaises. Se basant sur des faits et des chiffres officiels, M. Simon analyse les principaux systèmes pratiqués avec succès en France, et en France seulement jusqu'ici, pour faire participer les employés et ouvriers aux bénéfices des établissements qui les occupent; il signale notamment les résultats obtenus par la maison Leclaire, à Paris, par les établissements Laroche-Joubert, à Angoulême, Godin, à Guise; il montre aussi le rôle du livret de Courcy dans l'application du principe de la participation.

Après avoir répondu à l'objection du danger, plus apparent que réel, de l'immixtion des employés dans la gestion des sociétés, M. Simon étudie le développement des associations coopératives de production dans notre pays. Il fournit, à l'appui de la confiance que lui inspirent les travailleurs ainsi groupés, un certain nombre d'exemples témoignant d'une persévérance, d'une solidarité et d'une abnégation trop souvent contestées aux ouvriers français.

M. Simon signale les théories économiques qui lui paraissent dangereuses, les problèmes dont la solution s'impose aux syndicats et qui intéressent non seulement le prolétariat, mais toute l'industrie française.

En terminant, M. Simon insiste sur la mission conciliatrice de l'ingénieur, placé au milieu d'intérêts multiples et également respectables.

M. le Président. Messieurs, quelqu'un des membres a-t-il quelques explications à demander à M. Simon ou des observations à faire sur sa communication?

M. Mayer. Si personne ne demande la parole, c'est peut-être parce qu'on est un peu près du moment où on a entendu cette lecture si intéressante; peut-être que, après quelques jours de réflexion, après la lecture et l'examen de la publication qui sera faite de cette communication, la discussion pourra plus utilement s'établir.

M. le Président. Si c'est l'avis de l'Assemblée, nous remettrons à une séance ultérieure les réflexions et les remarques qu'on pourra présenter sur la communication de M. Simon.

Je vous demanderai, en attendant, la permission de le remercier de sa communication et de le féliciter. Nous avions demandé à la Société de s'intéresser à l'enquête parlementaire et de faire, de son côté, parallèlement, sa petite enquête à côté de la grande. M. Simon vient de nous lire un travail qui peut être considéré comme un chapitre intéressant de cette enquête que nous demandions à l'effort des membres de la Société. Il y a, dans ce travail, des choses précieuses; il y a des exemples dont tout le monde peut faire son profit, les patrons eux-mêmes, les ouvriers surtout. Il y a, entre autres, une remarque sur laquelle il faut appuyer : c'est le conseil qu'il donne aux ouvriers, avec la grande autorité des exemples dont il accompagne ce conseil, de ne pas chercher à se passer de direction ; il leur fait comprendre qu'il faut une tête, une âme à leurs associations : c'est ce qui a eu lieu à la maison Leclaire, et aussi à l'Association des ouvriers lunetiers, qui offre des résultats très remarquables et que je ne connaissais pas. J'ai été très heureux d'entendre ces détails, et mes collègues, comme moi, ont écouté cette lecture avec grand intérêt. Nous remettrons donc à une autre séance les remarques que la lecture de la communication de M. Simon pourra suggérer aux membres de la Société.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Auguste Moreau, sur les chemins de fer d'intérêt local et les avantages de la voie étroite. Mais, cette communication est un peu longue : il faudrait plus d'une heure à M. Moreau pour la présenter à la Société et ce serait dommage de la scinder. Je serais d'avis, si l'assemblée l'approuve, de remettre la communication de M. Moreau à la prochaine séance.

M. Quéruel demande la parole pour adresser une question au Bureau.

M. Louis Bronne, notre collègue, a adressé une lettre à M. le Président, au sujet de la série de communications sur les moteurs à vapeur que j'ai faites à la Société.

M. Bronne frappé de la modicité des cotes de fonctionnement des machines de mon système, et des conséquences d'économie générale qui en résulteraient, aurait désiré qu'une vérification expérimentale fût faite par une commission.

J'ai assisté aux deux séances qui ont eu lieu depuis l'envoi de la lettre de M. Bronne, espérant en entendre la lecture et y répondre au besoin. Cette lecture n'a pas eu lieu, j'en ignore le motif.

M. le Président. Voici la réponse à votre question :

M. Martin a renvoyé au Bureau la lettre de M. Bronne et celle de M. Quéruel, qui l'accompagnait. On a examiné la question avec grand soin. Ce que demande M. Bronne, c'est de faire de nouveaux essais pour vérifier les résultats des premières expériences faites par M. Quéruel sur les machines

à vapeur. M. Bronne demande à la Société de nommer une commission pour suivre les expériences et donner son avis sur le travail de M. Quéruel.

Il est de règle que la Société ne peut pas prendre parti pour différents expérimentateurs ou différents ingénieurs, elle ne peut pas donner son attache officielle aux expériences diverses faites par ses membres : c'est pour ce motif que le Comité a décidé que la lettre de M. Bronne ne serait pas lue à la Société.

Mais puisque M. Quéruel pose cette question, je suis chargé de lui dire que le Comité apprendra avec plaisir que M. Quéruel a pu organiser des expériences, les faire suivre par ceux de nos collègues que la question intéresse, afin de pouvoir nous faire ensuite une communication sur ces expériences. Cette communication serait faite sous la propre responsabilité de M. Quéruel; et, de cette façon, l'attache officielle que la Société ne peut donner ne sera pas engagée. Je pense que M. Quéruel aura ainsi toute satisfaction.

M. Quéruel pense qu'il y a une méprise sur ce point, à savoir : qu'on demanderait une sanction à la Société sur les expériences. Il ne recherche nullement l'avis collectif de la Société pour en tirer un avantage mercantile, l'intérêt de la vérité est son seul objectif. Personne n'a oublié que ses propres travaux ont été condamnés avec un certain éclat. Une véritable suspicion s'en est suivie, elle a pris corps et s'étend sur toutes ses communications. Je suis prêt, ajoute-t-il, à faire en présence d'une Commission les expériences nécessaires pour prouver l'exactitude des valeurs que j'ai énoncées. Dernièrement, à propos d'un appareil, la Société a nommé une commission chargée de vérifier des expériences. Je voudrais qu'il en fût de même à mon égard.

M. le Président. Je crois que M. Quéruel fait erreur en disant qu'il y a eu une commission nommée dans des cas analogues.

M. Quéruel. L'appareil de M. Dulac est dans ce cas-là. Dans nos règlements, d'ailleurs, la chose est prévue, et la nomination de la commission chargée de suivre ces expériences, a eu lieu conformément aux règlements de la Société. De cette manière, il n'y a pas suspicion.

M. le Président. Je ne crois pas qu'il y ait suspicion vis-à-vis de M. Quéruel. Quant à l'appareil de M. Dulac, voici comment les faits se sont passés. Je puis vous renseigner très exactement. Il s'est trouvé que M. Marché m'avait cédé le fauteuil, et c'est au cours de la séance que M. Dulac a demandé que la Société voulût bien assister aux essais de son appareil. J'ai demandé alors à M. Brüll, que la question intéressait, s'il voulait bien assister aux expériences et nous communiquer le résultat de son examen. C'est la même chose que je demande à M. Quéruel. S'il ne veut pas que sa responsabilité soit en jeu, il priera un de ses amis de nous apporter une communication; seulement, le contrôle de la Société ne sera pas engagé. Nous ne pouvons pas et nous ne devons pas entrer dans cette voie, et M. Quéruel doit bien le comprendre, parce que, non pas lui, je sais bien qu'il ne le ferait pas, mais d'autres personnes pour-

raient demander l'attache officielle de la Société pour des expériences et se servir du rapport de la commission nommée par la Société en l'insérant dans les journaux, en disant : « Voilà l'avis de la Société des Ingénieurs civils, c'est elle qui me patronne, etc. » La Société, je le répète, ne peut pas entrer dans cette voie-là, et nous devons nous en tenir éloignés avec le plus grand soin.

Je crois que la solution indiquée par le Comité à M. Quéruel est très simple : ceux de nos collègues qui s'intéressent à la question traitée par M. Quéruel peuvent assister aux expériences, et M. Quéruel ou l'un d'eux pourra venir faire ici une communication sur les résultats qui lui auront paru intéressants. Je crois que les droits de M. Quéruel seraient ainsi parfaitement sauvegardés.

M. Quéruel. En présence des explications données par M. le Président, je n'insiste pas. Je me propose de faire des expériences prochainement, j'inviterai M. Louis Bronne, signataire de la lettre, ainsi que ceux de nos collègues qui voudront bien se joindre à lui.

MM. Burgart, Huguet et Pinheiro ont été reçus membres sociétaires.

La séance est levée à dix heures un quart.

LA PARTICIPATION DES EMPLOYÉS AUX BÉNÉFICES

ET LES

ASSOCIATIONS OUVRIÈRES EN FRANCE

PAR M. ÉDOUARD SIMON.

En indiquant, l'année dernière, les résultats obtenus par les *Sociétés coopératives* anglaises[1], je rappelais que l'esprit français n'est point réfractaire aux idées d'association et que la disparition de la plupart des sociétés ouvrières fondées en 1848 était due principalement aux circonstances politiques.

Les faits consignés en 1883, lors d'une première enquête administrative[2], puis en 1884, devant la Commission parlementaire dite des *quarante-quatre*[3], témoignent de la confiance des ouvriers éclairés dans l'avenir des associations.

Il convient de reconnaître, à l'honneur de notre pays, que le patronat français a su, dans nombre de cas, mettre en pratique la participation des employés aux bénéfices des exploitations industrielles et commerciales, augmenter ainsi la part des salaires et commencer l'éducation économique de l'ouvrier en lui fournissant les moyens d'apprécier, d'une façon palpable, les heureux effets de l'entente entre les trois facteurs essentiels de l'activité humaine : l'intelligence, la main-d'œuvre et le capital.

La participation du personnel aux bénéfices, exclusivement applicable, il est vrai, dans les entreprises prospères, solidement fondées,

1. *Le mouvement coopératif en Angleterre* (séance du 6 avril 1883).
2. *Enquête de la commission extraparlementaire des associations ouvrières* nommée par M. le ministre de l'intérieur. Paris, imprimerie nationale, 1883.
3. Procès-verbaux de la commission chargée de faire une enquête sur la *situation des ouvriers de l'industrie et de l'agriculture en France*. Paris, *Journal officiel*, 1884.

assurées du lendemain, constitue la transition naturelle entre le salariat quotidien, trop facilement désintéressé de l'œuvre à laquelle il concourt, et l'association proprement dite, où chacun prend sa part des pertes aussi bien que des bénéfices. Vous me permettrez, Messieurs, de vous signaler, suivant l'ordre chronologique, l'organisation et le fonctionnement de quelques sociétés en participation.

M. Leclaire, entrepreneur de peinture à Paris, fut le premier qui, comprenant la justice et l'utilité sociale du principe, réussit à l'appliquer en dépit des oppositions administratives et des résistances des ouvriers eux-mêmes.

Dès 1840, M. Leclaire avait proposé aux anciens ouvriers de sa maison de leur attribuer une part dans les bénéfices, mais il était trop tôt et l'offre ne fut pas agréée.

Néanmoins, en 1842, confiant dans les résultats inévitables de la mesure, ce novateur annonça qu'à la fin de l'exercice, les bénéfices de l'entreprise seraient partagés entre les plus dignes sous le rapport de l'intelligence et de la moralité. Désireux de réunir le personnel pour lui expliquer le but et les avantages de cette détermination, il sollicita l'autorisation de convoquer ses employés et ouvriers dans ses propres magasins situés à Monceaux (dépendant, à l'époque, de la commune des Batignolles).

La préfecture de police répondit par un refus pur et simple.

L'année suivante, M. Leclaire fit parvenir au préfet l'exposé imprimé des moyens mis en œuvre et demanda l'autorisation de réunir dans ses ateliers, quatre ou cinq fois par an, ceux des employés et ouvriers auxquels il accordait une part proportionnelle dans les bénéfices produits par le travail. « En un mot — concluait l'auteur de la demande — il s'agit, si j'ose me permettre de me servir de cette expression, de faire un cours de morale, de peinture pratique et d'administration. »

Cette fois, le refus ne suivit pas *sans phrases* et l'extrait suivant mérite d'être cité, ne servirait-il qu'à montrer le chemin parcouru depuis lors.

« ... Nous pensons, dans les circonstances où se place cet entrepreneur, que son intention n'est autre que d'embaucher des ouvriers pour assurer l'extension de ses travaux en leur donnant des chances de partage dans les bénéfices qu'il retire de ces travaux.

« C'est là une question de règlement de salaires d'ouvriers qui ne

nous paraît pas devoir être encouragée et qui est même défendue par les lois; l'ouvrier doit rester entièrement libre de fixer et régler son salaire, et il ne doit pas *pactiser avec le maître*, et c'est à quoi le sieur Leclaire vise aujourd'hui.

« Sous ce rapport, les autorisations qu'il sollicite nous paraissent devoir lui être refusées, surtout si l'on considère que, pour l'association dans les bénéfices, l'ouvrier s'engage avec le maître au delà d'une année, ce qui lui est défendu par l'article 15 de la loi du 22 germinal an XI (12 avril 1804)[1]. »

M. Leclaire se soumit aux interdictions administratives et, sans mot dire, distribua, pour la première année (1842), entre quarante-quatre de ses ouvriers, la somme de 12,266 francs.

Le groupe des employés participants et l'importance des sommes distribuées aux membres de ce *noyau*, s'accrurent d'année en année. Toutefois, jusqu'en 1870, les auxiliaires n'avaient aucun droit aux bénéfices. Après la guerre, un ouvrier étranger à l'entreprise dit un jour à M. Leclaire : « Votre maison n'est qu'une boîte à petits patrons, « parce que une partie seulement des ouvriers prend part aux béné- « fices. » La rudesse de la forme n'excluait pas la justesse de l'observation; il fut tenu compte de cette critique et M. Leclaire accorda la participation à tout son personnel.

Actuellement, la société, *en nom collectif* à l'égard de deux gérants et *en commandite* à l'égard de la *société de secours mutuels des ouvriers et employés*, est organisée comme suit :

Le fonds social s'élève à 400,000 francs fournis moitié par les gérants, moitié par la société de secours mutuels et non compris une réserve de 100,000 francs appartenant également à la société de secours. Pour faciliter aux ouvriers et employés la possibilité de devenir *gérants*, ceux-ci ne sont pas tenus d'apporter un capital. La part du gérant, qui quitte la société ou qui meurt, reste dans la maison jusqu'au moment où le remplaçant a pu fournir son apport statutaire. Les gérants sont nommés à vie par les ouvriers, en assemblée générale et au scrutin secret.

Un groupe, désigné sous le nom de *noyau*[2], se recrute parmi les ouvriers et autres employés qui, âgés de vingt-cinq ans au moins et de quarante au plus, Français d'origine ou naturalisés, connaissent bien

1. *Enquête de la commission extraparlementaire*, t. II, annexes, p. 497.
2. Comprenant, à la date de l'enquête, 126 membres sur 400 ouvriers environ.

leur métier, travaillent dans la maison depuis cinq années et se sont signalés par une conduite irréprochable. Les membres du groupe se montrent particulièrement scrupuleux à cet égard. Sur soixante-dix demandes d'entrée formulées en 1882, six seulement furent admises.

Le *noyau* se réunit chaque année en assemblée générale, afin de procéder :

1° A la nomination des chefs d'atelier, pour un an;

2° A l'admission au noyau des ouvriers et employés;

3° A la nomination, pour un an, des membres du comité de conciliation. Ce comité, présidé par l'un des gérants, composé partie d'ouvriers ou chefs d'ateliers, partie d'employés, a pour mission d'avertir et, le cas échéant, de prononcer le congé temporaire ou le renvoi définitif des ouvriers du noyau, des ouvriers et employés classés, qui manqueraient à leurs devoirs.

Le noyau constitue donc une élite intéressée moralement et matériellement à la bonne marche de l'entreprise. Indépendamment de la part dans les bénéfices, proportionnelle au taux des salaires, — et ces bénéfices augmentent en raison des soins apportés aux travaux, de l'impulsion donnée aux ouvriers auxiliaires, — les membres du noyau sont les premiers occupés, en cas de chômage, et ont droit à une pension de retraite qui s'élève aujourd'hui à 1,200 francs, avec reversibilité de moitié sur les têtes de la veuve et des orphelins mineurs. Ajoutons qu'aux termes du règlement de la *société de prévoyance et de secours mutuels*, outre les soins du médecin, la fourniture des médicaments et une allocation pécuniaire, en cas de maladie, il est accordé une pension viagère à tout ouvrier qui, sans appartenir au *noyau*, se trouve dans l'une des conditions suivantes :

1° Impossibilité de gagner sa vie à la suite d'un accident survenu en travaillant pour la maison;

2° Soixante ans d'âge et vingt années de services non interrompus.

Les *bénéfices de l'entreprise* sont partagés chaque année, après prélèvement des 5 pour 100 du capital, dans les proportions suivantes :

25 pour 100 à la gérance, dont 2/3 au plus ancien des deux gérants;
75 — aux ouvriers et employés, dont 25 pour 100 à la caisse de prévoyance et 50 pour 100 immédiatement distribués au prorata des salaires individuels.

Les heures supplémentaires, le travail du dimanche et le travail de

nuit n'entrent pas en ligne de compte. La participation aux bénéfices est exclusivement appliquée à la journée réglementaire de dix heures.

En 1883, la société de prévoyance et de secours possédait un capital de 1,500,000 francs placé en rentes sur l'État, à la Caisse des retraites pour la vieillesse ou à la Caisse des dépôts et consignations, et servait à 51 pensionnaires un revenu annuel de 47,000 francs. D'autre côté, la répartition individuelle constituait une augmentation de salaire évaluée, pour un simple ouvrier, à 15 centimes de l'heure, soit, par an, de 400 à 420 francs.

L'entreprise Leclaire a subi l'épreuve du temps et des événements. Après la mort du fondateur, puis de son coassocié, M. Defournaux, les gérants furent successivement remplacés au choix de l'assemblée générale et au mieux des intérêts communs. Conformément à un article statutaire dicté par la sagesse de M. Leclaire, le président de la société de prévoyance fut choisi en dehors de la maison créée par cet homme de bien, qui se défendait d'être un philanthrope[1].

Deux objections se présentent tout naturellement à l'esprit : était-il prudent de constituer la société de prévoyance commanditaire d'une entreprise industrielle et de distribuer intégralement aux participants la somme des bénéfices individuels ?

Les faits répondent victorieusement, dans le cas particulier, puisque le fonds de réserve de 100,000 francs appartenant à la société commanditaire est demeuré intact et que les ouvriers de MM. Redouly et Cie emploient surtout les bénéfices attribués à la fin des exercices annuels en achats de valeurs mobilières ou en acquisition de petites propriétés.

Remarquons aussi que, pour les travaux de peinture, la main-d'œuvre représente environ 70 pour 100 et les matières premières 30 pour 100 de l'ensemble, que, par conséquent, le quantum de la participation peut être beaucoup plus important que dans d'autres entreprises où les matériaux et l'outillage concourent à l'établissement des prix de revient suivant une proportion absolument inverse. Il n'en faudrait pas conclure à l'impraticabilité de la participation dans la grande industrie. L'exemple donné par M. Laroche-Joubert, à Angoulême, démontre la variété des combinaisons avantageuses auxquelles se prête le principe.

1. M. Charles Robert, directeur de la Compagnie d'assurances contre l'incendie, l'*Union*, et l'un des plus ardents défenseurs du principe de la participation, est devenu le président de la société de prévoyance de l'ancienne maison Leclaire, aujourd'hui Redouly et Cie.

Le personnel de la *Papeterie coopérative d'Angoulême* a été divisé par groupes appelés *Exploitations* ou *Entreprises*. Chaque entreprise forme une sorte de petite société exécutant des travaux particuliers pour le compte de l'entreprise générale, avec sa comptabilité et ses inventaires spéciaux. Sur les bénéfices du groupe, il est attribué une part au *travail*, c'est-à-dire au salaire, répartie au marc le franc, une part à l'*intelligence*, c'est-à-dire aux chefs de service et aux surveillants, déterminée par les gérants de la papeterie, selon les mérites de chacun, une part au *capital*, représenté par la maison. La proportion réservée aux trois éléments : *travail*, *intelligence* et *capital*, varie avec les groupes, d'après la marge des bénéfices, l'importance de la main-d'œuvre, le rôle des chefs de service, la somme des capitaux nécessaires.

De plus, une caisse, destinée à recueillir les épargnes de chaque jour, fournit aux déposants, en dehors de l'intérêt à 5 pour 100 l'an, un dividende prélevé sur les bénéfices généraux. Ces épargnes peuvent être transformées en *parts de commandite*; le rachat de l'actif social, usines, outillage et marchandises, s'effectue graduellement au profit du personnel.

Les moyens mis en œuvre dans la *Papeterie coopérative d'Angoulême* pour intéresser les employés à la prospérité de l'établissement respectent absolument l'indépendance de chacun; lorsque l'ouvrier a effectué son travail et que la maison a payé le salaire correspondant, les parties sont libres de tout engagement l'une envers l'autre. Le droit individuel à la participation ne saurait entraver la direction, car les bénéfices appartiennent aux groupes, au prorata de la production. En d'autres termes, la somme afférente à la participation est toujours distribuée après l'inventaire annuel, sans que l'exclusion d'un ou de plusieurs ouvriers motive une réduction. Cette règle constitue, pour les salariés, une garantie contre des renvois intéressés et, pour les gérants, une liberté complète d'administration.

C'est dans le même esprit que la *Papeterie coopérative* n'a point créé de caisse de retraites, ne voulant pas retenir à l'ouvrier une fraction de bénéfices (qui eût été abandonnée plus ou moins volontairement) ni paraître mettre en doute ses sentiments de prévoyance. L'expérience a justifié la confiance de M. Laroche-Joubert dans la sagesse de ses collaborateurs, puisque, indépendamment des gérants, plus du tiers de l'actif social est devenu la propriété des ouvriers commanditaires.

Voici, d'après un acte authentique daté de 1880 la proportion, à cette époque, des divers éléments constitutifs du capital social :

1° Les trois gérants.	1,600,000	francs.
2° Commanditaires, anciens gérants ou héritiers desdits.	815,000	—
3° Commanditaires parents ou amis des gérants.	430,000	—
Ensemble	2,845,000	—
4° 8 anciens ouvriers et employés, ou héritiers desdits	310,000	—
5° 82 commanditaires, employés et ouvriers de la maison (la plus faible commandite est de 2,000 francs)	1,345,000	—
Total.	4,500,000	—

L'apport des 82 derniers commanditaires représente l'accumulation des économies provenant surtout des bénéfices de participation. Afin d'assurer le placement progressif de ces épargnes, l'acte social a réservé au conseil de gérance le droit de rembourser les premiers associés sans avoir à justifier ultérieurement la mesure. La gérance use périodiquement de ce droit pour utiliser les dépôts des ouvriers qui expriment le désir de devenir commanditaires.

On a dit que la *Papeterie coopérative d'Angoulême* n'a pas jugé opportun, jusqu'à présent, de fonder une caisse des retraites, préférant développer l'esprit de prévoyance que de lui imposer une règle uniforme. Il n'a point été nécessaire de procéder à la création d'une société de secours mutuels, qui eût fait double emploi avec d'autres sociétés locales, mais, en dehors d'écoles primaires (de création antérieure à la loi sur l'instruction obligatoire), il a été institué, en 1880, par les soins de madame Laroche-Joubert et sous le patronage de la *Papeterie coopérative*, une crèche-garderie dont l'organisation devrait être imitée dans tous les centres ouvriers.

Grâce à une souscription personnelle et volontaire des membres de la société en commandite, tous les enfants, depuis l'âge de quinze jours jusqu'à l'âge où ils peuvent être reçus dans les salles d'asile municipales, sont gardés durant la présence de leurs parents dans les ateliers. Ceux qui vont à la salle d'asile, sont reçus, le matin, jusqu'à l'heure d'ouverture de l'asile, où ils sont conduits tous ensemble par

une des femmes de service ; ils sont ramenés, le soir, de la même manière, à la crèche, pour être surveillés jusqu'à la fermeture des ateliers. Pendant le premier âge, la mère vient allaiter son enfant, aussi souvent que le travail de l'usine le permet ; si le lait de la mère est insuffisant, l'enfant reçoit de la crèche, selon les prescriptions du médecin, le supplément de nourriture nécessaire. Lorsque l'enfant est sevré, la mère apporte, le matin, son panier garni pour la journée ; la crèche réchauffe les aliments et donne une ou deux soupes chaudes, suivant la saison. Jusqu'à l'époque où l'enfant est admis à l'école communale, la mère paye 10 centimes par jour ; lorsqu'il va à la salle d'asile, il est gardé gratuitement le matin et le soir, mais ne reçoit plus aucune nourriture.

Ces détails méritent qu'on y insiste, car la nécessité pour l'ouvrière de laisser le plus souvent ses jeunes enfants sous la surveillance d'un autre enfant ou d'un vieillard, dans un local mal aéré en été, peu ou point chauffé en hiver, l'obligation de courir pendant les heures de repas, parfois à de grandes distances, pour allaiter son nouveau-né, constituent les premières causes de la mortalité qui décime les populations manufacturières.

Les conséquences de la participation, telle que l'a organisée M. Laroche-Joubert, ne se traduisent pas seulement par des bénéfices matériels. Les rapports entre les chefs et les ouvriers se ressentent de la communauté des intérêts, de l'estime mutuelle. Le personnel se recrute parmi les travailleurs les plus intelligents et reste attaché à la maison de père en fils. Dans de pareilles conditions, la grève serait un non-sens et, de fait, aucun dissentiment ne s'est jamais élevé entre la gérance et les employés.

Pour M. Laroche-Joubert comme pour M. Leclaire, la *répartition annuelle* des profits a toujours été la base de la participation. Tous deux ont laissé une grande indépendance, c'est-à-dire une grande responsabilité à l'ouvrier qui place, à sa guise, ce supplément de son salaire. Toutefois, dans le cas de placements défectueux, l'ouvrier du *noyau* Leclaire se trouve assuré contre la misère par une pension de retraite ; l'ouvrier de la *Papeterie coopérative d'Angoulême* n'a point une semblable garantie, s'il n'use de la faculté de devenir copropriétaire de l'actif social, au prorata de ses économies.

Il est un autre système de participation qui, contrairement aux précédents, réserve les suppléments annuels des profits pour constituer

des fonds de prévoyance individuels, non disponibles avant une échéance déterminée. M. de Courcy, administrateur de la *Compagnie d'assurances générales*, nous a entretenus, au cours de la séance du 3 février 1882 [1], des bons résultats obtenus à la faveur de cette méthode, actuellement appliquée dans l'industrie, dans le commerce, dans l'administration proprement dite. L'employé possède un livret sur lequel est inscrit, à la fin de chaque exercice, la somme représentant la participation aux bénéfices de l'année et les intérêts des versements antérieurs. Le but est de constituer non pas une rente viagère, mais un capital d'épargne, un patrimoine qui, à l'âge de la retraite ou du décès, revienne entièrement au titulaire ou à sa famille.

Parmi les nombreux exemples cités au cours de la déposition de M. de Courcy, le suivant est particulièrement typique : Lors d'une première dotation de la caisse de prévoyance, votée par les actionnaires de la *Compagnie d'assurances générales*, un marinier nommé Berthier, attaché à ladite Compagnie avec un traitement annuel de 1,500 francs, reçut pour sa part 639 fr. 70. Cette somme s'est augmentée tous les ans d'un intérêt de 4 pour 100 et de la participation dans les bénéfices. Au 31 décembre 1871, le livret de M. Berthier se soldait par une somme de 21,568 francs, qui fut employée à l'achat d'une rente 5 pour 100 de 1,250 francs. Cependant, M. Berthier n'ayant que cinquante ans d'âge, est demeuré au service de la Compagnie, il a continué à toucher son traitement de 1,500 francs, les intérêts de sa rente 5 pour 100 et une participation dans les bénéfices.

Toutes les sociétés, il est vrai, ne donnent pas des résultats équivalents à ceux de la *Compagnie d'assurances générales*.

Des caisses de prévoyance avec livrets individuels ont été adoptées par la Compagnie du touage de la haute Seine, par la maison du Bon-Marché, par des établissements de filature et de tissage, etc., etc.

Malgré ces preuves incontestables de la praticabilité du système, la déchéance du livret et le retour à la caisse de prévoyance des sommes versées jusque-là au compte du titulaire, en cas de départ motivé par des convenances personnelles ou par suite de révocation, semblent des clauses inspirées par des préoccupations d'ordre administratif plutôt que par le sentiment de certaines susceptibilités dont il est difficile de ne pas tenir compte. Avec le livret créé par M. de Courcy, l'avenir

1. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, 1882, p. 179.

de l'employé est lié d'une façon indissoluble à l'établissement qui l'occupe. Les conditions imposées par MM. Leclaire et Laroche-Joubert, tout en réservant des avantages importants aux meilleurs et aux plus habiles, à ceux qui se dévouent à l'œuvre commune, laissent, chaque année, entre les mains des salariés, des preuves tangibles de leur participation à la prospérité de l'entreprise [1].

Le *Familistère de Guise*, fondé par M. Godin en 1860, réorganisé en 1877, occupe une place importante entre les systèmes ci-dessus et l'association même. Depuis sa naissance jusqu'à sa mort, le travailleur du *Familistère* est d'autant mieux assuré contre les malechanches de la vie qu'il se consacre plus complètement au succès de l'établissement.

En fin d'exercice et avant tout partage, il est prélevé sur les profits une somme représentant 2 pour 100 du chiffre des salaires et appointements, pour alimenter les caisses de secours mutuels et de retraites. Le solde des bénéfices est réparti entre le capital, l'intelligence et la main-d'œuvre, en prenant pour bases le total des intérêts servis au premier de ces éléments à raison de 5 pour 100 l'an, le montant des traitements attribués aux ingénieurs, comptables et autres employés, la quotité des salaires et la situation du personnel ouvrier dans l'usine. Ainsi l'ouvrier auxiliaire n'a droit qu'aux assurances mutuelles contre les accidents et contre la maladie, mais les 7 à 800 travailleurs déclarés *participants* après un an de stage, au minimum, interviennent dans la distribution des bénéfices proportionnellement à leurs salaires; les *sociétaires*, tenus d'habiter le Familistère [2], participent pour une fois et demie le montant de leurs payes; enfin, pour les *associés*, au nombre d'environ soixante-dix, également obligés à l'habitation du Familistère, travaillant à l'intérieur de l'usine et porteurs de *parts*, le total des salaires est compté deux fois. Les sommes acquises de ce chef sont converties en titres sur l'association, sans augmentation du capital social. Si, par exemple, il est distribué 500,000 francs de bénéfices, la

1. L'observation ci-dessus s'applique exclusivement aux sociétés industrielles; elle ne doit pas être interprétée comme une critique de la réforme proposée par M. de Courcy à l'égard des fonctionnaires de l'État. L'adoption du livret individuel constituerait au profit du personnel des administrations publiques une mesure strictement équitable, puisque le décès prématuré du titulaire n'entraînerait pas, comme aujourd'hui, la perte pour la famille des retenues sur le traitement, accumulées depuis l'entrée dans la carrière. Le livret de Courcy a déjà obtenu la sanction gouvernementale en Cochinchine, où il suffisait d'un décret présidentiel (signé par Thiers en 1873) pour lui donner force de loi; il appartient au parlement d'étendre la mesure aux fonctionnaires de la métropole. — E. S.

2. Les bâtiments du *Familistère* peuvent recevoir actuellement dix-huit cents locataires.

répartition donne lieu au remboursement de parts de fondateur pour même somme. Les titres nouveaux ont droit, l'année suivante, à distribution d'intérêts en espèces. Lorsque les parts de fondateur se trouveront épuisées, la délivrance des titres nouveaux coïncidera avec le remboursement des plus anciens attribués aux premiers associés. Ce roulement a pour but de ne point laisser l'actif social s'immobiliser dans les mêmes mains et d'empêcher le découragement des derniers venus.

Avec ses propres ressources, le *Familistère* a fondé une association commerciale pour les approvisionnements de toutes sortes; quatre-vingts femmes et jeunes filles sont occupées par cette société de consommation. L'établissement rétribue, en outre, de quinze à vingt personnes, instituteurs ou institutrices, bonnes ou gardiennes, pour le service de neuf classes d'instruction et d'un asile.

Le *Familistère*, a-t-on objecté, constitue une sorte de *Communauté* industrielle. Mais si le groupe des *associés* se garde soigneusement contre l'admission de quiconque ne possède pas les qualités voulues de moralité, la sortie est toujours facile et n'entraîne pas la perte des parts acquises.

Quoi qu'il en soit, du système pratiqué à Guise comme des autres sommairement indiqués au cours de cette note, est résultée une double conséquence, également favorable à l'extension du principe de la participation. Des chefs d'industrie ont démontré expérimentalement que l'association des ouvriers aux bénéfices n'amoindrit en aucune manière l'autorité du personnel dirigeant et n'autorise point d'immixtion fâcheuse dans la conduite des affaires. Les employés ont compris, mieux que par de longs raisonnements et des discussions abstraites, l'utilité du *capital* qui est l'épargne accumulée, le rôle non moins important de l'*intelligence* pour mettre en valeur ce capital et le *travail manuel*, dont le bon vouloir seul ne suffit point.

Les sociétés en participation ont ainsi préparé la voie aux associations ouvrières de production. Nous disons à dessein *associations de production*, car bien que les sociétés de consommation ne soient pas inconnues dans notre pays et que certaines d'entre elles aient acquis un heureux développement, ces sociétés semblent s'être volontairement tenues à l'écart des enquêtes. En tout cas, elles ne viennent pas, comme en d'autres contrées, prêter le concours de leur épargne aux producteurs associés. Les clientèles des deux organismes (consom-

mation et production) semblent jusqu'à présent distinctes et divisées.

Pour ceux qui seraient tentés de voir dans le petit nombre d'associations de production actuellement fondées un défaut d'aptitudes de la part des ouvriers français, il suffirait de se reporter au discours prononcé par M. le ministre de l'intérieur, lors de l'ouverture de l'enquête administrative. Ils y verraient qu'en 1848, à une époque où cependant le pouvoir législatif était favorable aux ouvriers, l'administration n'osa pas leur confier de travaux entraînant des fournitures de matériaux; qu'en 1867 le gouvernement qui, dès les premiers jours de l'empire, avait témoigné d'une grande méfiance à l'égard des associations, fit une loi favorable aux sociétés financières, mais non aux groupements de travailleurs peu fortunés; que le cautionnement, supprimé en 1848, rétabli bientôt après, subsiste encore, bien que le *dixième de garantie* constitue, en cas d'action contre l'entrepreneur, une sauvegarde suffisante.

L'administration qui, en raison de ses responsabilités, est tenue à une grande circonspection, n'est point seule imbue de méfiances parfois excessives. Les particuliers se défendent mal de certains préjugés et l'*Association générale des ouvriers tailleurs* en fournit une preuve curieuse. Fondée en 1863, cette Société fut congédiée du local qu'elle occupait, parce que les autres habitants du même immeuble, parmi lesquels un notaire, ne voulaient pas tolérer sur la maison l'enseigne de l'association. Le fait eût pu être isolé mais *dix-sept* propriétaires, auxquels les ouvriers tailleurs s'adressèrent successivement, soulevèrent la même objection.

Or, les faits et les chiffres qui vont être rappelés permettront d'apprécier les tendances, la valeur morale des *ouvriers tailleurs*.

Le 19 septembre 1870, cette association passa avec l'administration municipale de Paris un marché pour la façon de 100,000 vareuses, à 6 francs l'une, ci	600,000 francs.
Le 19 octobre suivant, l'exécution satisfaisante du premier contrat en fit obtenir un second pour la façon de 100,000 pantalons à 3 fr. 50 l'un . . .	350,000 —
Ultérieurement, un troisième marché fut conclu pour la façon de 32,000 capotes, moyennant une somme de	703,681 fr. 50
Ensemble	1,653,681 fr. 50

L'administration eut recours à d'autres fournisseurs auxquels elle paya les mêmes prix de façon et accorda les mêmes métrages pour chaque objet à confectionner; l'*Association* seule rendit des économies de coupe, représentées par 7,500 mètres de drap, qui furent revendus par l'Administration des Domaines moyennant une somme supérieure à *cinquante mille francs*.

Quant aux *trente mille travailleurs* occupés par les associés, ils recevaient : pour la façon d'une vareuse . . . . 4 francs.
— — d'un pantalon . . . . 2 —
tandis que les autres fournisseurs donnaient seulement :
Pour une vareuse . . . . 2 —
Et pour un pantalon . . . . 1 —
soit la moitié.

De plus, après complète liquidation des marchés, il resta un bénéfice net de 210,000 francs, qui fut réparti entre 32,000 ouvriers, à raison de 10 pour 100 du travail produit par chacun d'eux.

L'*Association générale des ouvriers tailleurs* comptait 16 membres au début, elle en possède actuellement 193, avec un fonds de roulement de 100,000 francs environ et une caisse de retraites, dont le capital dépasse ce chiffre. Si le siège de Paris, désastreux pour tant d'autres, contribua au développement de l'Association, il convient de reconnaître que, par son exactitude, sa loyauté scrupuleuse, la direction aida puissamment aux circonstances.

Le choix du ou des directeurs est, en effet, l'une des grosses difficultés que rencontrent les sociétés coopératives. Certaines associations semblent croire que le changement fréquent du personnel administratif ne présente pas d'inconvénients et assurément il est préférable de remplacer un gérant dont l'insuffisance est évidente, plutôt que de laisser péricliter les affaires sociales. Toutefois, sans aller aussi loin que l'*Association coopérative des ouvriers charpentiers de la Villette*, nommant son directeur, pour ainsi dire, à vie, ces compagnons sont fondés à penser que les changements fréquents de direction constituent l'écueil de toutes les sociétés[1].

Une autre difficulté de nature à entraver le fonctionnement des associations de production résulte du manque de capitaux. Pour les sociétés qui visent les travaux du bâtiment, l'obstacle n'est pas insur-

1. *Enquête de la commission extraparlementaire* première partie, p. 115.

montable, parce que le crédit s'obtient facilement si les associés sont connus et si les marchés sont passés avec des administrations ou avec des propriétaires de solvabilité notoire. Mais lorsqu'il s'agit d'une fabrication exigeant un outillage coûteux, des approvisionnements de matières premières et de produits, les embarras du début découragent parfois les plus hardis.

La *Société des ouvriers lunetiers en nom collectif et en commandite,* dont l'origine remonte à 1849, prouve ce que peuvent, en pareil cas, des travailleurs intelligents, unis et résolus. Le 19 mars de la même année, après d'assez longs pourparlers, car la plupart des ouvriers de la corporation comprenaient mal l'utilité de l'association, une toute petite fabrique de lunettes, située rue Saint-Martin et exploitée par MM. Duez et Durié avec un matériel estimé 650 francs, devint le berceau de l'entreprise. « Aucun des associés n'avait de capitaux ; ce fut donc avec 650 francs de dettes, leurs bras pour ressources et la foi dans l'avenir que l'association fut mise en pratique[1]. »

L'apport de chaque sociétaire était de 300 francs à prélever sur les bénéfices ; les profits devaient être partagés également entre ceux des associés dont la main-d'œuvre s'élèverait à un minimum annuel de 600 francs, réserve déduite de 8 pour 100 en vue d'une caisse de retraites.

La première année, malgré le manque d'argent et de crédit, treize associés parvinrent à placer pour 24,000 francs de produits.

En 1852, il fallut reviser les statuts, changer le titre d'*Association fraternelle* contre celui de *Société industrielle et commerciale des ouvriers lunetiers.*

Le personnel n'était encore que de vingt associés et les ressources pécuniaires restaient inférieures aux exigences du développement commercial. La part de chaque sociétaire fut portée à 1,000 francs et cette augmentation, que des commandes toujours plus considérables devaient bientôt montrer insuffisante, détermina une heureuse modification statutaire. Il fut décidé que le capital et le travail auraient des droits égaux dans la répartition des bénéfices, c'est-à-dire que les profits seraient distribués suivant la part de chacun dans l'actif social et la somme de main-d'œuvre fournie individuellement pendant l'année.

1. Voir la notice historique placée en tête des statuts de l'association.

Cette mesure permit de supprimer les répartitions égalitaires (plus équitables en apparence qu'en réalité) et, du même coup, la caisse des retraites devenue sans objet, puisque les sociétaires étaient assurés de toucher, pendant la vieillesse, un revenu proportionnel à leur avoir. La combinaison réussit et les premiers résultats engagèrent l'Association à élever successivement la valeur des parts à 2,000 francs en 1855, à 5,000 francs en 1857, à 10,000 francs en 1860. A la même époque — et c'est là une règle de justice que d'autres sociétés coopératives ont le tort de négliger — les veuves des sociétaires furent autorisées à laisser en dépôt la somme acquise par le mari, moyennant un intérêt variable entre 6 et 10 pour 100 l'an.

En 1873, l'Association adjoignit à la fabrication des objets de lunetterie et d'optique, la production des articles de mathématiques, des instruments de géodésie et d'arpentage ; le chiffre des affaires annuelles atteignit à près de trois millions de francs.

Quelques années plus tard, une expropriation, nécessitée par les travaux de la ville, imposa des dépenses extraordinaires, incomplètement compensées par l'indemnité légale, et le Conseil d'administration fit un nouvel appel au dévouement des intéressés. L'Assemblée générale de 1878 éleva l'apport de chaque sociétaire à 30,000 francs, celui des adhérents à 5,000 francs.

Ces sommes semblent fort considérables pour des ouvriers et l'on est tenté tout d'abord de considérer l'*Association des lunetiers* comme un groupe de capitalistes. Quelques renseignements, puisés dans les statuts, feront saisir le mode de formation du capital réclamé de chaque travailleur participant.

La première somme de 5,000 francs est constituée, jusqu'à concurrence de 1,000 francs, à l'aide d'une retenue de 10 pour 100 sur le total de la main-d'œuvre et des bénéfices de l'ouvrier adhérent ; pour parfaire la différence, soit 4,000 francs, le même *doit* laisser la moitié des bénéfices successivement acquis, mais *peut*, s'il désire s'exonérer plus promptement, déposer la totalité de ses profits et 10 pour 100 de ses salaires.

Le capital de l'*associé* (30,000 francs) est divisé en six parts égales. Jusqu'à la constitution des cinq premiers mille francs, l'ouvrier subit la retenue totale de ses bénéfices et, facultativement, de 10 pour 100 du prix de sa main-d'œuvre.

De 5 à 10,000 francs, la retenue se borne aux trois quarts des béné-

fices, mais il est loisible au sociétaire de laisser le dernier quart et toujours 10 pour 100 de son salaire.

De 10 à 25,000 francs, il n'est retenu que moitié des bénéfices et le quart seulement, de 25 à 30,000 francs.

Outre le capital statutaire, l'associé en activité a le droit d'augmenter son avoir jusqu'à la somme de *quarante mille francs*, en laissant le quart de ses bénéfices et sans que le revenu du capital supplémentaire puisse dépasser 10 pour 100.

L'accumulation des épargnes a fourni à l'*Association des ouvriers lunetiers* le moyen de réaliser un capital dépassant 1,200,000 francs, de posséder un stock de matières premières d'environ 200,000 francs, un outillage actionné par trois moteurs à vapeur et par trois moteurs hydrauliques d'une force totale de 128 chevaux.

Enfin la Société compte 118 membres, répartis comme suit :

Sociétaires travailleurs retraités	6
— — actifs	49
— capitalistes commanditaires. .	5
Adhérents travailleurs.	52
Veuves de sociétaires.	6
Total	118

Toutes les associations ne peuvent évidemment prétendre à de pareils résultats et, de même que l'organisation intérieure, le choix de l'industrie exerce une grande influence sur le sort des entreprises. L'*Association coopérative des ouvriers jardiniers* qui, fondée seulement au mois d'avril 1881, a déjà pris une sérieuse extension, aurait-elle eu chance de succès hors d'un centre comme Paris, où les fleurs naturelles sont devenues des objets de grande consommation et d'exportation ?

Serait-il possible de compter ailleurs sur l'avenir d'une *association de cochers* analogue à celle de la rue des Boulets, entre autres, qui, avec un capital de 325,000 francs (versé par cent sociétaires), construit son matériel roulant et possède le nombre de chevaux nécessaires à la circulation quotidienne de soixante voitures de place et de seize grandes remises ?

A plus forte raison Paris se trouve-t-il indiqué pour les spécialités

exclusivement de luxe ou d'agrément, telles que la bijouterie, la joaillerie, la fabrication des instruments de musique.

De tous côtés le mouvement se dessine et les doctrines creuses du collectivisme et de l'anarchisme perdent du terrain. Cette évolution n'est point superficielle; les faits prouvent que, dans l'espèce, le reproche de légèreté et d'inconstance n'est point justifié. Un exemple montrera ce que le pays est en droit d'attendre des hommes qui ont adopté le principe de la solidarité dans le travail.

Il existe à Paris deux associations d'ouvriers en limes : l'une, fondée en 1848, après des vicissitudes résultant surtout des événements politiques, s'est depuis longtemps solidement affirmée; l'autre, créée vers 1867, eut à traverser, pour ses débuts, les épreuves du siège. A la suite de la guerre franco-allemande, l'ouvrage faisant défaut, l'association fut réduite à cinq membres et des créances impayées creusèrent un déficit de 12,000 francs. Le gérant, M. Rouillier, tint à honneur d'acquitter la dette sociale et de reconstituer les fonds antérieurement versés par les sociétaires, qui avaient dû se retirer faute de commandes. Les cinq associés travaillèrent jour et nuit, soldèrent la dette et remboursèrent peu à peu les parts de leurs anciens collaborateurs. Aujourd'hui, l'association possède un capital de 20,000 francs et, dans un quartier éloigné du siège central, a ouvert un magasin de détail qui, sous la garde de l'un de ses membres, contribue au développement des affaires.

De pareils actes viennent à l'appui des déclarations de plusieurs sociétés ouvrières qui, à tort ou à raison, n'ont pas voulu se grouper sous la forme anonyme, dans la crainte de paraître se dérober aux responsabilités.

Est-ce à dire que la médaille n'a point de revers et qu'il n'est pas nécessaire de lutter contre les illusions, les impatiences très explicables mais dangereuses pour eux-mêmes, d'un certain nombre de travailleurs? Telle n'est pas notre pensée et nous croirions manquer à un devoir en ne la formulant pas avec netteté.

En dehors des conditions particulières aux sociétés coopératives, les associations de production subissent l'influence des causes générales qui pèsent sur l'industrie et qui sont notamment la *concurrence étrangère, le coût de la main-d'œuvre*. La concurrence étrangère ne saurait être atténuée — comme l'ont supposé quelques déposants devant l'enquête parlementaire et en admettant le consentement des gouver-

nements — par le rétablissement d'une *association internationale*. Sans doute la main-d'œuvre constitue un élément important dans le prix de revient des produits manufacturés mais elle n'est qu'un élément et, pour s'en rendre compte, il suffit de se reporter à la très intéressante étude de notre confrère, M. Périssé [1]. Puis l'association internationale des travailleurs n'est pas plus praticable, dans l'état actuel, que le libre-échange absolu ou la paix universelle. Nous ne sommes pas appelés à voir se constituer les États-Unis d'Europe et le moyen d'assurer notre indépendance tant économique que politique n'est pas de nous abandonner au sentimentalisme, aux idées de fraternité universelle, que nos voisins exploiteraient contre nous. Il est plus vrai et plus viril de compter exclusivement sur nous-mêmes. Un économiste allemand, List, se charge, dans l'introduction au *Système national d'économie*, de nous mettre en garde contre les illusions de l'internationalisme :

« La plus haute association des individus actuellement réalisée, — écrit List, — est celle de l'État, de la nation; la plus haute *imaginable* est celle du genre humain.

« De même que l'individu est beaucoup plus heureux au sein de l'État que dans l'isolement, toutes les nations seraient beaucoup plus prospères, si elles étaient unies par le droit, par la paix perpétuelle et par la liberté des échanges...

« Mais aujourd'hui l'union des peuples au moyen du commerce est encore très imparfaite, car elle est interrompue ou du moins affaiblie par la guerre ou par les mesures égoïstes de telles ou telles nations. Par la guerre, une nation peut être privée de son indépendance, de ses biens, de sa liberté, de sa constitution et de ses lois, du degré de culture et de bien-être qu'elle a déjà atteint ; elle peut être asservie. Par les moyens égoïstes de l'étranger, elle peut être troublée ou retardée dans son développement économique.

« *Conserver, développer et perfectionner sa nationalité, tel est donc aujourd'hui et tel doit être l'objet principal de ses efforts*. Il n'y a là rien de faux et d'égoïste; c'est une tendance raisonnable parfaitement d'accord avec le véritable intérêt du genre humain, car elle conduit naturellement à l'association universelle, laquelle n'est profitable au

1. Du prix de revient des machines en France, en Angleterre, en Allemagne. *Conclusions au point de vue de l'importation et l'exportation*, par M. S. Périssé. Paris, J. Baudry, 1884.

genre humain qu'autant que les peuples ont atteint au même degré de culture et de puissance, et que, par conséquent, elle se réalise par la voie de la confédération. »

Lorsque la confédération entrevue par List sera réalisée, l'association internationale existera, non pas au bénéfice d'une catégorie de citoyens, mais au profit de tous. Jusque-là, développons et perfectionnons notre nationalité, c'est la plus sûre méthode pour accroître nos ressources. La hausse factice des salaires, dans des pays moins obérés que le nôtre, ne saurait améliorer la condition matérielle des ouvriers français et le procédé serait aussi peu efficace que la limitation volontaire de l'activité individuelle. L'élévation du prix de la main-d'œuvre profiterait momentanément aux salariés étrangers, sans rétablir l'équilibre à notre avantage et deviendrait bientôt une cause de surenchérissement général. De même l'ouvrier, dont l'objectif serait d'enrayer l'excès de production en ne tirant pas tout le parti possible de l'outillage mis entre ses mains, commettrait une double hérésie économique, car il réduirait son gain et augmenterait les frais généraux de l'industrie.

La charge qui, du fait de la guerre de 1870, pèse cruellement sur nos manufactures, nécessite des réformes douanières que les traités de commerce entravent malheureusement pour la majeure partie; mais en dehors de tarifs compensateurs de ce surcroît d'impôts, indépendamment de l'extension des moyens de transports rapides et économiques, du développement de l'outillage national, en un mot, et de la défense du marché intérieur, qui incombent à l'État, les travailleurs de tous grades, chefs et ouvriers, ne doivent épargner ni la peine, ni l'intelligence pour conserver le rang qui appartient à la France.

Le coût de la main-d'œuvre ne peut croître et la durée des heures de présence diminuer sans cesse, d'une façon disproportionnée avec les salaires et les journées des autres pays. Sans renoncer au bien-être, il convient que chacun limite sa dépense. Ce double résultat n'est point irréalisable si les ouvriers, membres ou non des sociétés de production, veulent constituer des associations de consommation.

Les sociétés anglaises nous ont fourni de précieux enseignements sur lesquels il serait superflu de revenir aujourd'hui. Il est également facile de trouver, en France, des exemples dignes d'imitation. Notre confrère, M. Gibon, directeur des usines de Commentry, montre, dans

une intéressante brochure offerte à la Société des Ingénieurs[1], les heureux résultats de semblables créations.

L'*Association coopérative de Commentry*, fondée en 1867, a pour but (art. 2 des statuts) « l'achat aux meilleures conditions de prix et de qualité, des substances, denrées ou marchandises de consommation. pour les revendre ensuite aux membres de la société, aux autres ouvriers de l'usine et à leurs familles, considérés comme membres coopérateurs, du jour où ils se serviront au magasin social, de façon à faire participer les actionnaires et les consommateurs au bénéfice pouvant résulter de l'achat en gros de ces objets. »

Le chiffre actuel des transactions atteint, par mois, de 60 à 65,000 francs et varie par année, de 7 à 800,000 francs. La somme des dépôts représentés par le bénéfice des actionnaires et des coopérateurs non actionnaires a toujours été en croissant : elle était de 3,745 francs lors du premier inventaire (1867), puis s'élevait, en 1872, à 52,268 francs ; en 1877, elle atteignait à 195,273 francs et à 291,301 francs au 31 décembre 1882.

Depuis la fondation de la société, les bénéfices confiés à la caisse sociale ont fourni, en chiffres ronds, un capital de 294,000 francs qui a reçu 74,000 francs d'intérêts. La différence entre le total de ces deux sommes et le reliquat actuel (150,000 francs) a permis aux intéressés de puiser dans leurs propres ressources pour améliorer le sort de la famille : constituer une dot, acheter un mobilier, acquérir le terrain destiné à la construction d'une maison, etc.

Ces résultats obtenus sous le patronage de la Société des usines de Commentry témoignent de la prudence bienveillante des administrateurs et du bon esprit des ouvriers. D'après d'autres exemples heureux, empruntés aux établissements de MM. Japy frères, Peugeot frères, Lépée frères, dans le seul département du Doubs, M. Gibon conclut au succès constant des sociétés de consommation assurées du concours d'un patronat sérieux, aux rares chances d'avenir des associations de même sorte fondées sur le principe de l'autonomie.

Sans contester absolument une appréciation dictée par la propre expérience du directeur des usines de Commentry, nous croyons que souvent l'intervention obligatoire de l'autorité patronale devient une cause de méfiance et d'insuccès, voire même d'irritation et de grèves.

1. *Société de consommation des forgerons de Commentry*, par A. Gibon, directeur des usines de Commentry, membre du Conseil de la Société d'économie sociale.

Le système suivi par un autre de nos vénérés confrères, M. le sénateur Noblot, ménage davantage les susceptibilités. L'administration des établissements de MM. Méquillet, Noblot et Cie a facilité de ses conseils la fondation et l'organisation d'une société de consommation parmi les ouvriers qu'elle emploie, mais aucun de ses membres ne prend une part directe à la gestion. Les actionnaires pratiquent ainsi le *self-government*, qui constitue la meilleure éducation, et n'en demeurent pas moins dévoués aux patrons. Ajoutons que les bénéfices de ladite association se traduisent annuellement par l'*économie d'un douzième* environ sur les dépenses individuelles.

Dans cet ordre d'idées, les centres les plus populeux semblent le moins en progrès; la cause tient aux facilités de crédit offertes par de trop nombreux intermédiaires, vivant aux dépens de la bourse sinon de la santé du consommateur. N'est-il pas surprenant de trouver dans de petites communes du département des Deux-Sèvres, dans les sept communes de l'île de Ré, des *sociétés de panification*, qui établissent mensuellement la valeur du pain d'après les dépenses et les bénéfices du mois précédent et qui, presque toutes prospèrent, tandis qu'à Paris il n'existe pas de boulangeries coopératives pour faire profiter la population des bas prix du blé et de la farine ?

Les chambres syndicales qui, jusqu'au vote de la loi du 21 mars 1884, vivaient de tolérance, possèdent aujourd'hui une existence reconnue : elles affirmeront sans doute leur vitalité en contribuant à la création d'associations analogues.

Les syndicats d'ouvriers, comme les syndicats de patrons, voudront aussi étudier et résoudre la question complexe de l'apprentissage, qui intéresse le présent et l'avenir de la production nationale, ils repousseront certainement la doctrine étroite suivant laquelle les corps de métiers, revenant aux errements des anciennes corporations, seraient autorisés à limiter arbitrairement le nombre des apprentis. Adopter une autre ligne de conduite équivaudrait à abandonner la lutte industrielle et à préparer de nouveaux débouchés dans notre pays, non pas seulement pour les produits, mais pour les bras étrangers dont la concurrence se fait déjà sentir.

Notre insistance sur ce point tient à ce que les écoles professionnelles ne suffisent pas à former l'apprenti. Il faut, dans l'atelier même, parmi les travailleurs expérimentés, un concours bienveillant sans lequel l'élève ne saurait se perfectionner ni devenir ouvrier.

Le recrutement des apprentis est, d'ailleurs, rendu de plus en plus difficile par la mode d'employer les enfants comme *coursiers* dans les grandes administrations. La désignation indique la valeur de l'emploi et M. Dubuisson, *inspecteur départemental du travail des enfants*, a eu le mérite de signaler l'abus devant l'enquête parlementaire [1]. D'après le déposant, la seule administration des télégraphes emploie plus de sept cents enfants à Paris. Comment les industries, qui exigent un apprentissage sérieux et ne donnent pour tout salaire que l'enseignement professionnel, pourraient-elles résister à une pareille concurrence ? Cette pépinière d'aspirants fonctionnaires, dépourvus d'instruction, parvenant à l'âge d'homme sans état manuel et représentant des non-valeurs, au retour du service militaire, constitueront un danger ou du moins un embarras social.

Les questions de secours mutuels, d'assurances en cas d'accidents, de retraites pour la vieillesse, sont liées, comme les précédentes, à la prospérité de l'industrie, à l'entente des producteurs, patrons et employés, associés à des titres divers, par conséquent au succès des syndicats largement compris, syndicats de patrons et syndicats d'ouvriers qui, tout en conservant l'indépendance, se grouperont à de certaines heures afin de résoudre en commun les problèmes étudiés isolément.

Pour obtenir cette union, dissiper les malentendus et préparer des associations durables, nous ne nous permettrons pas de donner des conseils, nous nous bornerons à transcrire quelques observations de M. Delahaye parlant au nom de la *Société professionnelle des ouvriers mécaniciens* : « Depuis un siècle, les libertés d'association et de réunion sont entravées en France : il s'ensuit que nous sommes ignorants de nos propres intérêts, nous ne pouvons pas avoir les habitudes pratiques de l'organisation, de la discussion et de la tolérance. La loi nouvelle (sur les syndicats) va permettre de commencer cette éducation et d'améliorer légalement notre condition sociale.

« Nous sommes dans des conditions spéciales...; pour ces conditions spéciales, il faudra des réformes, dont les premières consisteront dans la création d'associations ouvrières de production.

« Ces associations ne seront possibles et durables qu'avec du temps: il va falloir former des hommes, des administrateurs, pour constituer des sociétés qui veilleront et défendront les intérêts communs, pour

1. Page 296.

préparer l'émancipation économique de la classe ouvrière, pour remplacer les ouvriers salariés par des ouvriers associés...

« Les impatients disent : « Prenons un fusil, nous arriverons ainsi « de suite au but. » C'est une grande erreur, on reculerait plutôt. Le gouvernement républicain pourrait ne pas résister à une commotion pareille, qui provoquerait une réaction et peut-être l'avènement d'une monarchie dont le premier acte serait de supprimer nos trois libertés d'association, de réunion et de presse[1]..... »

La citation qui précède semble l'expression exacte des tendances, des préoccupations contemporaines, plus économiques que politiques. La forme gouvernementale étant hors de discussion, le combat pour l'existence s'impose exclusivement. Tous les peuples civilisés cherchent à se suffire d'abord, puis à se créer des relations commerciales au dehors. Cette lutte pacifique n'est pas moins redoutable que la guerre; elle est constante, elle exige des outillages sans cesse renouvelés pour défendre le marché intérieur, conserver les débouchés anciens, en créer de nouveaux; elle ne laisse aucun répit, n'autorise aucune défaillance.

Au milieu des intérêts multiples et connexes, le rôle technique de l'ingénieur se double d'une mission conciliatrice. Ce motif m'a déterminé à noter devant vous, messieurs, les premières étapes d'une marche en avant, où nombre des nôtres ont déjà bien mérité de l'humanité, de la France, qui n'a pas trop de tous les dévouements pour se relever et pour tenir haut le drapeau de la civilisation.

1. *Enquête parlementaire.* Séance du 14 mars 1884, p. 207 et suiv. Déposition de la *Société professionnelle des ouvriers mécaniciens* représentée par M. F. Carry, président, MM. V. Delahaye et A. Aucordier, délégués.

NOTE

SUR LES TRAVAUX

DU PORT DE LA RÉUNION

PAR MM. **JOUBERT** ET **FLEURY.**

C'est en 1874 que M. Lavalley fut amené, à la demande du ministre de la marine, à s'occuper du port que depuis longtemps on sentait l'impérieuse nécessité de construire à la Réunion.

M. Blondel, qui devait ensuite avoir la direction des travaux, reçut de lui la mission d'étudier sur place les conditions dans lesquelles cet ouvrage pourrait être construit, en tenant compte des circonstances météorologiques et nautiques et des nécessités économiques.

C'est à la suite de ces études qu'on s'arrêta décidément à l'idée de construire le port dans la plaine des Galets.

Le port de la pointe des Galets est situé dans la partie occidentale de l'île, au bord d'un vaste plateau d'alluvions légèrement incliné vers la mer, suivant une pente de 12 millimètres par mètre environ.

De cette disposition du terrain résulte déjà cette première conséquence que les talus des bassins creusés à l'intérieur auront une hauteur suffisante pour protéger les coques des navires contre l'action des vents.

D'ailleurs cette région est, de toute l'île, la partie la moins exposée à l'action du vent et des ouragans.

L'île, en effet, est soumise au régime des vents généraux du sud-est. D'avril à novembre, ces vents soufflent régulièrement, et souvent avec une violence suffisante pour que la tenue sur les rades soit impossible. C'est à Saint-Philippe (voir la carte pl. 84, fig. 1), situé au sud-est de l'île, que l'alizé se fait d'abord sentir. Se heurtant aux massifs montagneux de l'intérieur et aux abruptes falaises du rivage, le courant aérien se divise en deux branches ; l'une suit la côte dite du Vent, en

remontant du sud-est vers le nord, puis, s'infléchissant à l'ouest, passe sur Saint-Denis, la capitale administrative de l'île, et va enfin heurter au cap Bernard une grande falaise basaltique, qui le rejette définitivement au nord-ouest, au large de l'île. La branche inférieure, après avoir fait sentir toute son action sur la rade de Saint-Pierre, vient, en suivant la côte du sud au sud-ouest, se heurter aux masses du cap Noir et du cap Champagne, et de là se dévie vers le large, où elle va retrouver la branche supérieure à une grande distance de la pointe des Galets.

Aussi, tandis que sur tout le parcours de ces courants aériens, la tenue des rades est difficile et précaire, la région comprise entre le cap Bernard et le cap la Houssaye, et où se trouvent Saint-Paul et la pointe des Galets, n'éprouve-t-elle pendant la saison des alizés que des brises de remous, généralement légères, variant du sud-ouest au nord-est.

Cette partie de l'île n'est pas moins favorisée au point de vue des cyclones de la saison d'hivernage. En effet, ces dangereux météores attaquent presque toujours l'île par l'est-nord-est. C'est à Sainte-Rose qu'on en ressent les premières atteintes. Comme avec les vents généraux, les massifs montagneux jouent, cette fois encore, le rôle d'écran protecteur pour la région de Saint-Paul et de la pointe des Galets, presque diamétralement opposées à celle de Sainte-Rose. Les cyclones n'y arrivent donc qu'avec une intensité affaiblie. De plus, ce n'est que douze à dix-huit heures après qu'ils ont touché Sainte-Rose, que leurs premiers frémissements se font sentir à la pointe des Galets. On y peut donc, grâce au télégraphe, être prévenu à l'avance, et on a devant soi un temps suffisant pour prendre des précautions propres à atténuer les effets de l'ouragan.

Ajoutons à ces avantages résultant de la situation géographique, la fixité de la plage donnant toute sécurité pour l'assise des jetées, et la faculté d'accroître successivement la surface du port à mesure que les nécessités commerciales l'exigeraient; enfin, ce port occupant sur le chemin de fer une position centrale, devait offrir aux transactions commerciales des avantages de rapidité et de sécurité inconnus jusqu'alors à la Réunion.

Ce n'est pas à nous qu'il appartient de vous entretenir du chemin de fer. Cependant cette application de la voie d'un mètre sur 126 kilomètres, ces douze kilomètres de tunnels percés en trois ans à travers

des masses basaltiques, ces torrents franchis par soixante-cinq ponts, un de 520 mètres, un de 420 mètres, un autre de 100 mètres, d'une seule portée, ces viaducs en maçonnerie de 33 mètres de hauteur, tout cet ensemble de travaux fournirait certainement la matière d'une étude propre à vous intéresser. Nous en laissons le soin et l'honneur à ceux qui ont exécuté ces travaux.

Approuvée au milieu de 1877, par un vote du Parlement, l'entreprise entrait en œuvre presque aussitôt. Aux premiers jours de 1882, le chemin de fer a été ouvert à l'exploitation. Le port est aujourd'hui presque achevé.

C'est du port que M. Joubert, qui en fut l'ingénieur principal, et moi, nous vous demandons la permission de vous entretenir aujourd'hui.

L'étude du terrain, faite au moyen de puits de 1 mètre de section, descendus à 8 mètres au-dessous du niveau de la mer, ne laissait pas de doute sur sa composition. C'était un amas de matériaux en ordre confus, tantôt volumineux, tantôt impalpables, sables, graviers et galets, recoupés par quelques minces *couches* de tuf argileux et de cendres volcaniques agglutinées.

Plus on s'avançait vers le nord, plus on rencontrait des terrains d'un déblai facile. On fut ainsi amené à s'arrêter au pied des dunes qui limitent la plaine de ce côté.

L'axe de l'entrée se trouva placé à 1,500 mètres de la pointe des Galets, au nord, et au sud à 1,900 mètres environ de la rivière.

Le plan (pl. 84, fig. 2) montre les dispositions essentielles du port.

L'*entrée* est formée par deux jetées convergentes en arc de cercle ayant 225 mètres d'écartement à l'enracinement et 100 mètres d'ouverture aux musoirs. Cet enracinement était fixé sur la plage, au delà de la laisse connue des plus violents raz de marée, et à 90 mètres de la laisse d'eau ordinaire. — Les musoirs arrivent jusque dans les fonds de 12 mètres, leurs défenses extrêmes dans ceux de 15 mètres.

L'*avant-port* comprend, outre la partie circonscrite par les jetées, une entrée de 190 mètres de long débouchant dans un bassin de 250 mètres de côté. — Cette partie ne devait servir qu'à éteindre l'agitation des lames, mais l'expérience a prouvé que les navires de tout

tonnage pouvaient y opérer en toute sécurité. C'est un avantage appréciable pour ceux ne faisant que des escales. Ceux au contraire dont les opérations doivent avoir quelque durée, auront intérêt à les faire dans le *port intérieur*.

On y accède par un canal placé à angle droit sur le côté nord du grand bassin d'avant-port. Ce canal, de 150 mètres de long, a une section de 22 mètres au plafond avec des talus de 2/1, de façon à ne pas laisser pénétrer d'agitation.

Par ce canal, on entre dans un bassin de 230 mètres de long et de 130 mètres de large, dimension qui sera portée à 200 mètres par le fait de l'agrandissement actuellement en projet. Sur le côté débouchent les *rues* ou *bassins d'opérations*. La largeur de ces bassins est de 72 mètres à la ligne d'eau avec des talus de 2/1. Leur longueur est de 200 mètres. Ils sont pourvus d'appontements et de moyens de déchargement. Sur le terre-plein qui les sépare et qui est à la cote 9 mètres, s'élèvent, à l'aplomb des appontements (voir pl. 85, fig. 1) des docks qui, par suite du relief naturel du sol, présentent cette disposition éminemment avantageuse aux manipulations, d'avoir leur rez-de-chaussée au niveau même des appontements, tandis que leur premier étage est de plain-pied avec les voies ferrées qui se raccordent au chemin de fer. Les navires sont ainsi en communication directe avec les quartiers producteurs de l'île, et les transports se doivent faire de la façon la plus économique. —En outre, le terrain naturel est à une cote assez élevée au-dessus de l'eau pour abriter les navires contre l'action du vent, et c'est là un avantage inappréciable dans une contrée trop exposée aux ouragans.

La longueur des bords disponibles dans ces bassins est de 800 mètres et dans celui qui les précède de 360 mètres, en tout 1,160 mètres.

La superficie totale est d'un peu plus de 16 hectares. — Sur le plan (pl. 84, fig. 2 et 3) sont indiquées les installations des chantiers. Ces installations comprenaient les magasins, les bureaux, l'atelier, pourvu d'un outillage très complet : tours, marteau-pilon, cubilot, etc., suffisant pour toutes les réparations, non seulement du matériel de construction, mais encore des navires à voile ou à vapeur ; un puits fournissait l'eau douce aux appareils et à la population ouvrière du chantier. Dans la partie voisine de la mer, étaient installés les campements des ouvriers créoles et des engagés arabes, indiens, malgaches.

Les dimensions du port avaient été fixées d'après le tonnage des voi-

liers qui, jusque dans ces derniers temps, fréquentaient seuls les parages de la Réunion. Mais, dès 1881, des vapeurs d'un fort tonnage y ont fait leur apparition, les grands paquebots de la ligne d'Australie y ont une escale. — Aussi le vœu a-t-il été exprimé à diverses reprises, en France et à la Réunion de voir augmenter la surface disponible dans les bassins intérieurs.

La compagnie concessionnaire se préoccupe de satisfaire à cette nécessité révélée après coup. Dans une nouvelle convention avec le ministre de la marine et des colonies, actuellement soumise à l'approbation du Parlement, elle a introduit des stipulations spéciales à l'agrandissement, et il y a lieu d'espérer que le port, en se terminant, verra en même temps accroître sa superficie.

Le cube total qu'il y avait à extraire représente 2 millions 300 mètres cubes.

Toute la partie au-dessus du niveau de l'eau, c'est-à-dire plus de la moitié a été déblayée à sec, soit par les procédés ordinaires du terrassement, soit au moyen d'excavateurs (pl. 84, fig. 3).

Pour la partie sous l'eau, on a employé d'abord deux, puis trois dragues d'une puissance proportionnée à l'emploi qu'on en voulait faire.

La plus petite, destinée à faire les premières passes et à frayer, pour ainsi dire, le chemin à la plus grande, a l'axe du tourteau supérieur à $5^{m},50$ au-dessus du niveau de l'eau.

La longueur de l'élinde est calculée pour pouvoir draguer principalement à 4 mètres, et en l'abaissant sur les contre-fiches, à 8 mètres.

La machine est une machine Compound à condenseur à surface, pouvant produire 40 chevaux vapeur de 75 kilogrammètres.

Le tourteau fait 8 tours par minute, soit un passage de 16 godets d'une contenance de 150 litres.

La grande drague, au contraire, destinée à attaquer les fonds de 8 mètres et plus, avait été conçue dans des conditions toutes particulières de puissance.

L'axe du tourteau supérieur est à 9 mètres au-dessus de l'eau.

L'elinde permet de draguer jusqu'à 9 mètres de profondeur.

Elle est également munie d'une machine compound à condenseur par surface, pouvant développer 150 chevaux. Pour une vitesse de 70 tours, elle fait faire 6 tours au tourteau supérieur, ce qui fait passer par minute 12 godets de 460 litres chacun.

La puissance de production de ces deux dragues, en supposant les godets remplis aux trois quarts, peut donc atteindre pour la grande drague 240 mètres cubes à l'heure et pour la petite 108 mètres cubes.

Ces dragues sont desservies par des gabares à clapets de fond, dont les puits peuvent contenir 100 mètres de déblais.

Deux remorqueurs, l'un de 240 chevaux, l'autre de 120, assurent le mouvement de ces appareils entre les bassins et la pleine mer, où se fait le vidage.

Sans m'arrêter davantage à la description de ces appareils, permettez-moi de vous signaler le large emploi de l'acier qui a été fait dans leur construction. Les tourteaux supérieurs, en particulier, sont d'un seul bloc d'acier. Celui de la grande drague pèse 8,600 kilogrammes. Les godets sont également en acier ; le dos et les maillons sont d'un seul bloc.

La résistance de cet acier était de 45 kilogrammes, l'allongement de 15 pour 100.

Si je ne me sentais pressé par le temps, je me laisserais aller à vous signaler plus d'un détail de construction qui a donné de bons résultats : par exemple, la surface d'appui donnée aux maillons, 130 millimètres dans ceux de la grande drague, ce qui diminue l'usure du tourteau et surtout les cannelures qu'y tracent au bout d'un certain temps les maillons, quand ils sont étroits.

L'attache du couteau avec le maillon au moyen d'un boulon à tête fraisée a donné une grande solidité à cette partie d'un assemblage jusqu'alors si précaire.

En 1881, ces appareils furent mis à flot et montés dans un bassin spécialement creusé dans l'intérieur des terres sur l'emplacement du grand bassin d'avant-port.

Ils ont d'abord dû ouvrir une communication avec la mer, en creusant dans la plage un chenal de dimensions suffisantes pour le passage des gabares qui portaient les déblais à la mer.

Ce chenal n'eut d'abord que 20 mètres de large et 2^{m},50 de profondeur, afin d'éviter une trop grande agitation dans l'intérieur de la fouille. Sans protection au début contre les raz de marée, car on commençait à peine au même moment la construction de la jetée sud, ce chenal, avec des dimensions aussi exiguës, fut plusieurs fois obstrué.

Mais, dès la fin de 1881, la surface draguée à l'intérieur était assez grande pour qu'on pût donner à la communication une profondeur de

4^m,50 sur une largeur de 45 mètres et, à partir de ce moment, on ne constata plus d'obstruction.

Les dragues fournirent dans toute l'année 1882 un travail assez régulier, interrompu seulement par les violences de la mer, qui s'opposaient trop souvent à la sortie des gabares. Elles continuent leur travail et, malgré l'extrême hétérogénéité des terrains, ne rencontrent pas d'obstacles sérieux. En un seul point on a heurté, sur une largeur relativement de peu d'étendue (pl. 84, fig. 3), un amas de galets volumineux et enchevêtrés, barrant le fond de l'avant-port et pour l'enlèvement desquels il a fallu, après avoir essayé tous les autres engins spéciaux connus, recourir à des caissons à air comprimé. C'est là le seul obstacle qu'on ait rencontré. Par les retards qu'il a occasionnés, il a eu de l'importance. Il sera bientôt vaincu et on n'aura plus affaire qu'à des sables, des graviers et des limons sur lesquels les dragues retrouvent toute leur puissance.

Ce port ainsi creusé dans l'intérieur des terres offre aux navires une sécurité qu'aux jours de tempête ils n'eussent pu trouver entre des digues avancées en mer. Il lui fallait cependant une entrée, protégée par des ouvrages en saillie sur le rivage. La plage était assez accore pour permettre de donner à ces ouvrages exposés la plus petite longueur possible, tout en amenant l'ouverture dans les grands fonds.

C'est ainsi que la partie des jetées en saillie sur le rivage a pu n'avoir que 100 mètres de développement et atteindre des fonds de 12 à 15 mètres. En même temps on leur donnait la forme en arc de cercle, dont nous avons déjà parlé. On augmentait ainsi plus rapidement qu'avec des jetées en ligne droite la distance entre le pied de l'ouvrage et le chenal intérieur, dont les talus pouvaient être ainsi plus allongés et par conséquent plus stables.

Grâce encore à cette disposition, la lame trouve dès son entrée un espace élargi où elle peut s'épanouir plus rapidement qu'entre des jetées rectilignes.

Chacune des jetées se compose de deux parties bien distinctes : *l'amorce* et *le corps* même de la jetée (voir pl. 85, fig. 5 et 6).

L'amorce s'enracine sur la plage à la cote 4^m,40 et s'avance jusqu'à 8 mètres de la laisse moyenne des eaux. Son épaisseur, dans le sens vertical, est de 2 mètres. Sa face supérieure a une pente continue de 2 centimètres par mètre. Le terrain naturel, ayant une pente d'à peu près 0^m,04, l'extrémité de l'amorce, où toute fouille était rendue impos-

sible à cause du déferlement de la lame, se trouve entièrement en saillie sur le sol. Elle est préservée contre les affouillements par des blocs de défense accolés à ses faces extérieures ou intérieures. Sa largeur au départ est de 10^{m},50 et arrive graduellement à 14^{m},50, 10 mètres avant le point de départ où devait commencer la jetée proprement dite.

Outre que cet élargissement accroissait la résistance de l'ouvrage, à mesure qu'il se rapprochait de la mer, il était encore motivé par la nécessité d'installer et de faire manœuvrer à partir de ce point l'appareil de pose des blocs qui composent le *corps de la jetée.*

Cette amorce a été faite en béton pilonné dans des coffrages formés de panneaux mobiles qu'on déplaçait au fur et à mesure de l'avancement. A la suite de l'amorce vient la *jetée* proprement dite.

Le nom de *brise-lames*, de *breakwater*, conviendrait mieux à cet ouvrage, destiné uniquement à briser la violence de la mer et à assurer la tranquillité aux surfaces d'eau intérieures.

Pour construire cette partie des jetées, on ne pouvait songer à employer des appareils flottants. Sans parler de l'agitation de la mer, qui eût rendu leur emploi presque impossible, où les abriter ? On n'avait sur toute cette côte ni port, ni anse où se réfugier en cas de mauvais temps.

Il fallait donc construire entièrement la jetée en partant de terre et pour cela terminer par une plate-forme suffisamment dressée pour permettre l'établissement des voies sur lesquelles devaient circuler les appareils de pose.

Enfin, sans avoir de données précises sur la profondeur maxima à laquelle se faisait sentir l'action de la lame, on avait pu s'assurer, pendant une période d'observations de plusieurs mois, que les raz de marée étaient très fréquents, que leur intensité équivalait à celle des mers de cyclone, et qu'ils atteignaient le fond jusque dans les profondeurs de 10 mètres. Il fallait donc se prémunir à la fois contre le renversement de l'ouvrage par la puissance vive des lames et contre les affouillements, ces deux actions devant être accrues par le ressac qui résulterait certainement de la saillie de l'ouvrage sur la côte.

Il était non moins essentiel de se préoccuper de l'action des lames sur les jetées pendant la période de construction.

On pourvut à ces diverses nécessités par les dispositions que nous

allons indiquer et qui reposent essentiellement sur l'emploi de blocs de dimensions considérables, disposés en appareil régulier.

La figure (6, pl. 86) représente la jetée en plan. La figure (5, pl. 86) est un développement longitudinal de la jetée.

Le corps de la jetée est entièrement composé de blocs de béton arrimés par tranches successives, d'une épaisseur uniforme de $2^{m},50$, et posées directement sur le fond naturel, mélange de galets, de gravier et de sable.

En plan, puisque la jetée a la forme d'un arc de cercle, il semble que les joints entre deux tranches consécutives auraient dû converger vers le centre, comme des joints de voussoirs. C'eût été pour la fabrication et pour la pose une complication considérable, qui n'eût d'ailleurs rien ajouté à la solidité.

On l'évita par la disposition suivante :

Le joint extrême fut seul dirigé suivant le rayon passant par son milieu. Tous les autres lui sont parallèles. Mais chaque tranche est, par rapport à la précédente, déplacée vers l'extérieur de la courbe, de façon à ce que les centres de figure de toutes les tranches soient tous sur un arc de cercle de 250 mètres de rayon. Le *décrochement* qui en résultait allait, naturellement s'atténuant d'une tranche à l'autre. Il était d'ailleurs favorable à la solidité, puisque, à l'extérieur, chaque tranche était en retraite sur celle qui la précédait, et protégée par elle contre les lames attaquant la jetée par bout.

Dans la vue longitudinale de la jetée (pl. 85, fig. 5), on voit que chaque tranche est inclinée sur la précédente suivant un angle dont la tangente égale 1/3. Cette disposition a pour but d'augmenter la stabilité et d'éviter, pendant la construction, le danger du renversement vers le large. Elle assure aussi une meilleure jonction entre deux tranches consécutives. Par les mêmes motifs, on a évité la direction horizontale pour le joint entre deux blocs superposés. Les blocs de base reposent sur le fond par une face horizontale. Les lits entre deux assises consécutives sont normaux aux joints des tranches.

La première de ces tranches s'appuie à l'extrémité de l'amorce. Elle et les deux suivantes sont formées d'une seule assise de blocs. Puis, la profondeur augmentant, ces tranches se composent de deux, de trois et jusqu'à cinq assises de blocs. Les assises inférieures sont composées

de blocs de dimensions relativement petites, dits *blocs de base*. Par contre, les *blocs de couronnement*, directement exposés au plus grand choc des lames, ont des dimensions considérables.

Les figures (pl. 85, fig. 7) représentent les vues de face de tranches prises dans différentes parties de la jetée.

Dans une tranche les blocs de base sont au nombre de cinq.

Le volume de ces blocs est de 16 mètres cubes, leur poids de 43 tonnes.

Ce poids considérable tient à la densité des matériaux de basalte employés, laquelle était de 3.10. Celle des blocs s'écartait peu de 2.70.

Quant aux blocs de couronnement, ils sont sur la largeur au nombre de trois; un de $4^{m},50$ au milieu et un de 5 mètres de chaque côté. Ils ont $3^{m},60$ de hauteur et cubent, ceux des extrémités, 44 mètres cubes, soit un poids de 115 tonnes, et celui du milieu $38^{m3},394$ pesant 104 tonnes.

Le volume d'une assise de couronnement est donc de $123^{m3},714$ et son poids de 334 tonnes, poids auquel on doit ajouter celui de la maçonnerie du couronnement et du mur de garde. Mais surtout, par le fait de l'arrimage, qui met les blocs en contact les uns avec les autres par des surfaces considérables, on devait arriver et on est arrivé, en effet, à augmenter beaucoup la résistance de la jetée. Ce n'est plus, comme dans les jetées formées de blocs immergés à la volée, le poids seul d'un élément qui constitue sa résistance. C'est son poids ajouté à tous ceux sur lesquels il s'épaule, et accru du frottement de toutes les surfaces en contact.

Ainsi, dans le cas actuel, comme l'assise du couronnement n'est immergée que sur la moitié de sa hauteur, le poids destiné à résister à la lame est :

$$\left(\frac{123^{m3},714}{2} \times 2,700\right) + \left[\frac{123^{m3},714}{2} \times (2,700 - 1,018)\right] =$$

$$= 167^{t},014 + 104^{t},043 = 271^{t},057.$$

La face exposée au choc de la lame n'ayant que $8^{m2},28$, la résistance due au seul poids des éléments de la tranche est de $31,408^{k}$ par mètre carré.

Si, à ce poids, on ajoute l'effet du frottement sur l'assise inférieure et sur les tranches adjacentes, on admettra certainement que les jetées de la Réunion peuvent, sans danger, supporter les efforts maxima

actuellement admis[1]. De fait, pendant la construction et depuis, les jetées de la Réunion ont subi victorieusement le choc des cyclones et des raz de marée sans le moindre ébranlement.

Les blocs de couronnement se terminent par une face horizontale. S'il avait fallu affleurer toutes ces faces dans un même plan, il eût fallu créer presque pour chaque tranche des types spéciaux et les tassements d'une tranche à l'autre eussent d'ailleurs bien vite troublé la régularité qu'on eût cherché à obtenir par ce moyen. Aussi n'y a-t-on pas songé et s'est-on tenu à un type unique. Il en résulte bien des dénivellations d'une tranche à l'autre, mais elles sont peu considérables, et on les a rachetées facilement au moyen d'un blocage en béton de ciment.

La plate-forme de la jetée est arasée à $2^m,40$ seulement au-dessus du niveau moyen, avec un mur de garde arasé à 6 mètres sur le côté extérieur.

Le pied de la jetée est protégé contre les affouillements par un pavage en blocs de défense de 60 tonnes, dont le plan (pl. 85, fig. 6) et les coupes transversales (pl. 85, fig. 7) indiquent la disposition. C'est encore pour limiter l'effet des tassements, s'ils venaient à se produire, qu'on a évité tout liaisonnement entre deux tranches consécutives. Chaque tranche est entièrement indépendante de celle qui la précède et de celle qui suit.

Elle peut, quand un tassement se produira, descendre, changer de niveau, sans intéresser à ses mouvements celles qui l'avoisinent. Cette sorte d'élasticité dans la solidité est une des plus heureuses qualités de ce type d'ouvrage.

Bélidor avait eu l'idée des jetées en blocs arrimés. Longtemps après lui, les ingénieurs anglais ont pensé à disposer les blocs suivant des lits inclinés et par assises indépendantes. C'est ce qu'a fait Telford pour une partie de la jetée nord-est de Peterhead. En 1846, le colonel Askwith, du *Royal Engineer*, indiquait une disposition du même genre, dans un projet pour le grand port de Douvres. Plus récemment, en 1873, sir G. Hawkshaw et M. Ch. Hutton Grégory la recommandaient pour les jetées de Bridgetown, dans les Barbades. C'est toutefois M. Parkes qui fit l'application la plus importante de cette méthode au

1. On a constaté au port d'Alger des efforts sur les jetées de 30,000 kilogrammes par mètre carré. — A l'île Serryvor, à l'ouest de l'Écosse, dans une mer très tourmentée, Stivenson a mesuré des efforts de 30,415 kilogrammes. — M. Leferme, le savant ingénieur des embouchures de la Loire, a calculé, de son côté, que 23,500 kilogrammes était l'effort maximum des lames qui ont renversé la tour-balise du Petit-Charpentier.

brise-lames de Manora-Point, qui protège l'entrée du port de Kurrachee.

Mais, dans tous ces cas, les blocs n'avaient que des dimensions relativement faibles; le principe de l'indépendance relative des assises n'était pas respecté jusqu'au bout, et là, où, comme à Kurrachee, on s'y conformait rigoureusement, l'emploi d'une base en enrochements à une profondeur insuffisante pour éviter l'action de la lame, nuisait au bon effet qu'eût dû produire ce genre de construction.

A la Réunion, au contraire, en adoptant le système des assises inclinées et des tranches indépendantes, en fondant sur le sol naturel, en employant un large système de blocs de défense, et surtout en donnant aux blocs des dimensions exceptionnelles, on a pu assurer aux jetées une solidité considérable.

L'on voit (pl. 85 fig. 2), 6 la disposition générale du chantier de fabrication des blocs.

Les pierres étaient cassées dans une machine à mâchoire articulée (type n° 1 de Fives-Lille) : les matières dosées à l'avance dans des wagonnets d'une capacité déterminée étaient élevées par un plan incliné au-dessus des bétonnières. Celles-ci étaient des bétonnières rotatives de construction anglaise, donnant chacune en trente-deux tours, à raison de huit tours à la minute, 380 litres de béton.

La machine à casser les pierres, les bétonnières, le treuil du plan incliné, la pompe, étaient actionnés par une locomobile de 18 chevaux.

Des bétonnières, le béton tombait dans des caisses demi-cylindriques s'ouvrant par le fond, et posées sur des trucks qui les transportaient jusqu'au lieu d'emploi. Les blocs étaient construits à terre dans des formes ou moules (pl. 85, fig. 9) composés de panneaux mobiles en charpente réunis par des broches et des boulons. Une grue y déchargeait les caisses.

Le béton était formé de :

Cailloux cassés (lave et basalte)	562	litres
Sable basaltique	790	—
Ciment de Portland (densité 1.47) . . .	240	kilogrammes.

que le malaxage réduisait à 1 mètre cube.

C'était, en somme, un mortier de 300 kilogrammes de ciment pour

1 mètre cube de sable, dans lequel le volume du ciment était en léger excès sur les vides du sable.

Dans les blocs de défense, la chaux du Teil a été substituée poids pour poids au ciment de Portland.

Dans ce béton, on incorporait des galets de lave poreuse à surface rugueuse. Ces galets étaient placés non sur leur plat, mais sur leur pointe, et on évitait toute disposition ou arrangement régulier par lits, qui, au moment du soulèvement, aurait pu déterminer des plans de rupture. Tout autour, dans tous les interstices, le béton était vigoureusement pilonné.

Il entrait environ 30 pour 100 de ces blocages dans le bloc et 70 pour 100, par conséquent, de béton.

La composition de 1 mètre cube de bloc était donc la suivante :

Galets de lave	300 litres
Sable	368 —
Cailloux cassés.	553 —
Ciment ou chaux hydraulique . .	168k,500.

Cette composition diffère assez sensiblement de celle généralement usitée en Europe, et, en particulier, dans le bassin de la Méditerranée. L'expérience nous a démontré qu'avec cette composition les mortiers résistaient aux efforts de soulèvement et aux chocs accidentels qui pouvaient se produire pendant le transport et la pose, et nous croyons qu'elle est à recommander pour des cas analogues. Elle se rapproche d'ailleurs beaucoup de celle des grands blocs dont sont formés les quais de Dublin, qui, eux aussi, ont à résister à des manœuvres de soulèvement et de transport.

Généralement, les blocs étaient démoulés quarante-huit heures après leur fabrication. Ils étaient aussitôt après recouverts d'épais paillassons, continuellement arrosés pour éviter une dessiccation trop rapide des surfaces extérieures. Le soulèvement n'avait lieu, au plus tôt, que cinq mois après la fabrication pour les grands blocs et trois mois pour les petits.

Le mode de suspension de ces blocs pour leur enlèvement du chantier et leur mise en place varie suivant leur poids et leur destination.

Pour les blocs de base et de défense, la suspension se fait au moyen d'un étrier en fer (pl. 85, fig. 10 et 11), dont les branches inférieures sont tenues dans un sommier en bois de chêne. Tout le système est placé

suivant la verticale passant par le centre de gravité du bloc, et saisi, pendant la construction même dans la maçonnerie.

Ces étriers ont, suivant le poids du bloc, 52 ou 65 millimètres de diamètre. L'effort se répartissant également sur les deux branches, ils travaillent sous une charge d'environ 10 kilogrammes par millimètre carré, ce qui exigeait des fers de qualité exceptionnelle.

Les grands blocs des parties hautes de la jetée sont, au contraire, soulevés au moyen de louves (pl. 85, fig. 8 et 9).

On ménage dans le bloc des cheminées verticales aboutissant à leur partie inférieure à une rondelle en fonte dans laquelle existe une ouverture rectangulaire pour le passage de la louve. Le dessous de cette rondelle porte des bossages qui limitent le mouvement de la tête de louve lorsqu'on la met en prise et des parties dressées sur lesquelles cette tête s'appuie de toute sa largeur.

Pour la facilité de la construction et du transport de ces grands blocs, on les a construits droits sur le chantier ; tandis que, dans leur mise en place, ils doivent être inclinés. De là la nécessité de les pourvoir d'un second moyen de suspension pour le moment de l'immersion.

On satisfait à cette nécessité comme précédemment, au moyen de rondelles et de cheminées, auxquelles on a donné une direction (pl. 85, fig. 9, coupe E. F. G. H), faisant avec les premières un angle égal à celui dont le bloc doit être incliné au moment de la pose. Nous avons représenté sur la figure 9, pl. 85, le détail des dispositions à l'aide desquelles on mettait ces rondelles en place, et on les soutenait, provisoirement, jusqu'à ce qu'elles aient pu être encastrées dans la maçonnerie. Au-dessous, on ménageait, au moyen d'un coffrage en madriers, le vide nécessaire pour le libre mouvement de la tête de la louve.

On voit (pl. 85, fig. 2, et pl. 86, fig. 1) les dispositions adoptées pour transporter les blocs du chantier de fabrication au lieu d'immersion.

Les blocs sont disposés sur le chantier par files parallèles ne contenant chacune que des blocs de même type. Les horizontales passant par l'axe des suspensions sont rigoureusement parallèles entre elles et écartées de $4^{m},70$. Entre deux files de blocs sont établis des rails de 40 kilogrammes, posés à demeure sur longrines. Ces voies aboutissent à une fosse dont la direction leur est perpendiculaire, et qui règne depuis l'origine de la jetée jusqu'à l'extrémité du chantier.

Dans cette fosse circule un double chariot représenté sur la planche 86,

fig. 1, et qui sert au même but que les appareils du même genre employés dans les chemins de fer pour effectuer les transbordements.

La première partie se compose d'un toueur, pourvu d'un treuil à vapeur, muni d'une roue à empreinte embrassant une chaîne fixée aux deux extrémités de la fosse figurée sur la fig. 2 de la pl. 85. La seconde partie comprend le chariot porteur proprement dit. Ce chariot porte d'abord des rails au même niveau que ceux établis sur le chantier entre les files des blocs. Entre ces rails, il est pourvu d'une autre voie plus étroite, correspondant comme écartement à la voie établie sur la jetée. Sur ces rails intérieurs est posé un truck très bas (pl. 86, fig. 1).

Les blocs étaient soulevés sur le chantier par une *grue roulante* ou *bardeur*, composée essentiellement d'un solide bâti en tôle et cornières reposant sur des galets de roulement en acier.

Le soulèvement se produisait au moyen de deux presses hydrauliques de $0^m,400$ de diamètre, placées à la partie supérieure de l'appareil et agissant directement sur les louves. Le bloc soulevé, on hâlait le bardeur jusque sur le chariot de la fosse. C'est le cas représenté sur la planche 86. On descendait le bloc sur le truck, le bardeur était renvoyé sur le chantier, et le chariot se mettait en mouvement dans la fosse, pour amener le truck portant le bloc précisément en face de la voie établie sur la jetée.

Ce même chariot servait aussi, on le comprend du reste, à transporter le bardeur d'une file à l'autre de blocs.

Arrivé à l'extrémité de la jetée, le truck était hâlé jusque sous l'*appareil de pose*.

Cet appareil, auquel une réminiscence mythologique assez appropriée a fait donner le nom de *Titan* est représenté planche 86, fig. 2.

Il se compose essentiellement d'une poutre en tôle formée de deux flasques à treillis, écartées de 4 mètres et reliées à la partie supérieure par deux traverses extrêmes seulement, à la partie inférieure par une série de fortes entretoises en tôle et cornières.

Dans la figure de la planche 86, l'appareil est disposé pour poser un bloc. Les galets ou roues, qui se voient sur la figure, ne servent qu'au moment où il est nécessaire de mouvoir l'appareil en avant ou en arrière. Nous en parlerons tout à l'heure. Actuellement, ils sont soulevés, et l'appareil repose sur quatre semelles en bois dur, par l'inter-

médiaire de larges appuis en fonte fixés, deux à l'entretoise d'avant, deux à l'entretoise d'arrière.

Sur la poutre, roule un chariot portant un système de treuils destinés au soulèvement et à la mise en place des blocs.

Sur la traverse arrière, est une machine verticale à deux cylindres, dont le diamètre est de $0^{m},230$. La course du piston est de 0,300. La chaudière timbrée à 6 kilogrammes et demi a 25 mètres carrés de surface de chauffe.

La vitesse maxima est de 150 tours par minute.

Cette machine commande d'abord les distributeurs de la pression hydraulique, dont nous verrons tout à l'heure l'emploi. Elle met également en mouvement les appareils du chariot mobile, au moyen d'une transmission par un câble sans fin en coton, embrassant des poulies de 2 mètres de diamètre et dont la tension est réglée par un contrepoids agissant sur les patins mobiles qui portent les coussinets de la poulie extrême.

Lorsque la machine marche à 150 tours, le câble a une vitesse de 942 mètres par minute ou de $15^{m},70$ par seconde.

Le chariot n'a donc pas à traîner avec lui un moteur spécial ; quelque position qu'il occupe maintenant sur la poutre, ce câble lui transmettra la force qui lui est nécessaire pour remplir ses fonctions.

La première est de soulever le bloc qui vient d'arriver du chantier, et attend sous la partie arrière de l'appareil.

Si ce bloc a été construit dans la position qu'il doit occuper dans la jetée, comme c'est le cas des blocs de défense et de base, munis d'un étrier, il peut être immédiatement accroché. Mais, s'il a été construit vertical sur le chantier, il faut, avant de le suspendre, lui donner l'inclinaison convenable. C'est le cas représenté sur la figure (coupe transversale).

Pour cela on l'enveloppe d'une double ceinture de chaînes, dont une extrémité est fixée à des tasseaux passés dans les cheminées. L'autre extrémité passe au-dessous du bloc et vient se boucler à l'aide d'une manille d'assemblage à l'extrémité inférieure de la vis des deux verrins K.

En faisant monter cette vis, on appelle la chaîne, le bloc se penche, sa base roulant sur la courbe de la partie supérieure du truck de transport, et arrive à prendre la position I, dans laquelle ses cheminées de

pose sont verticales. On peut alors l'accrocher. Les têtes de louve sont saisies par en dessous dans un palonnier Z, à deux flasques ; on peut aisément, quand elles ne sont pas en charge, les y faire entrer ou les en faire sortir. C'est un palan à 8 brins, en chaîne galle, qui opère le soulèvement.

Les chaînes s'enroulent sur des roues à empreintes W, redescendent dans des poulies mobiles à contrepoids qui maintiennent la verticalité des brins et servent de compensateur pour les différences de vitesse d'enroulement et passent enfin sur de grandes bobines où elles peuvent s'enrouler entièrement.

Sur le même axe que les roues à empreintes W, sont calés des engrenages hélicoïdaux V, commandés par les vis U, auxquelles le mouvement de la poulie extérieure R est transmis par les engrenages S et les cônes d'embrayage T, dont les dispositions permettent non seulement de renverser le sens de la marche, de façon à descendre ou monter à volonté, mais encore, de faire varier la vitesse dans les deux sens en raison inverse de la charge.

Voici donc le bloc suspendu au chariot. Au moyen d'un débrayage, l'unique ouvrier qui conduit tous les mouvements du chariot peut mettre celui-ci en marche sur les rails qui garnissent la partie supérieure des flasques de la poutre. Si le bloc doit occuper une position exactement dans l'axe de la jetée, ce mouvement de translation s'effectue sans arrêt d'un bout à l'autre. Mais ce cas est rare. On s'en rend compte en jetant les yeux sur la vue en plan de la jetée (pl. 85, fig. 6). Presque toujours c'est à droite ou à gauche de l'axe longitudinal que doit se faire la pose. Il faut donc orienter l'appareil suivant la direction convenable. Voici comment on y est parvenu.

Par un pivot en forme de crapaudine, placé en son milieu, l'appareil tout entier appuie sur le sommet d'un piston hydraulique de 1 mètre de diamètre, susceptible d'une course verticle de $0^m,15$. Cette presse est actionnée par les pompes qui se trouvent sur la même traverse que la machine à vapeur et sont mues par elle. On amène le chariot, à peu près au milieu de la poutre, de façon à ce que le centre de gravité de tout l'ensemble soit sur la même verticale que le centre du pivot.

On peut alors soulever tout l'appareil sur ce pivot, et lorsqu'il repose ainsi uniquement sur son centre, on lui imprime un mouvement de giration, soit à droite, soit à gauche, au moyen de presses hydrauliques horizontales, R, R, placées symétriquement de chaque côté de

l'appareil. Ces presses agissent sur des chaînes de longueur constante, dont une extrémité est fixée au bâti de l'appareil et l'autre à la partie fixè de la presse centrale, qu'on appelle le *pot de presse*. Veut-on aller à droite? On tend au moyen des presses R_2, R_3, les brins *droite-avant*, et *gauche-arrière*. Pour la giration à gauche, ce sont les presses R_1, R_4, l'une *gauche-avant*, l'autre *droite-arrière* qui fonctionnent.

L'appareil tout entier pèse 300 tonnes; le bloc peut peser 110 tonnes soit 410 tonnes. Cependant, le mouvement s'exécute avec une douceur et une docilité surprenantes. Arriver à poser un bloc à moins de un centimètre près était une opération usuelle. Concentriquement au pivot central, on a disposé un cercle de roulement sur lequel l'appareil peut appuyer par des galets montés sur des piles de ressorts Belleville qui assurent le contact dans toutes les positions du Titan.

L'appareil étant exactement orienté vers le point de pose, on le redescendait sur ses appuis et le chariot reprenant sa marche en atteignait l'extrémité. Il s'avançait d'autant moins loin que le bloc était plus lourd. Mais aussitôt que le bloc pouvait être descendu dans l'eau on regagnait pour le moment de stabilité une fraction de poids égale à celui du volume d'eau déplacé et on pouvait gagner encore en avancement.

Arrivé au-dessus du point précis on effectuait la descente du bloc, c'est ce que représente la partie antérieure de la figure. Mais, à ce moment, il fallait le mettre dans la position qu'il devait occuper définitivement. On s'en était ménagé le moyen en formant la suspension du palonnier Z, au moyen d'une forte vis à filets carrés, passant dans un écrou sur lequel les chaînes galle étaient frappées. Une roue hélicoïdale calée sur l'axe de cette vis, était commandée par une vis sans fin qu'un homme placé sur le bloc manœuvrait à la main à l'aide d'un rochet à déclic. On parvenait ainsi à placer les blocs avec une précision comparable à celle des pierres de taille dans un parement de maçonnerie.

Pour soulever les blocs de base et de défense où la suspension consistait en un étrier, on employait une pince à deux branches qui saisissait la boucle de l'étrier. Mais les autres manœuvres restaient les mêmes.

Le lit de pose des blocs de base était dressé à l'avance par des scaphandriers. Le volume de galets à régaler dans cette opération était peu considérable. Dans toute autre mer, ce travail eût été peu de chose.

A la Réunion où l'agitation était presque continuelle, il a été pénible, et par suite assez coûteux.

Enfin il fallait pouvoir faire avancer l'appareil sur la jetée à mesure que celle-ci s'allongeait. Il fallait aussi, en cas de mauvais temps, et c'était un cas fréquent à la Réunion, le ramener en arrière,

Pour cela, on commençait par soulever légèrement l'appareil sur son pivot central, de façon à pouvoir enlever les semelles en bois sur lesquelles portaient les plaques d'appui. Ces plaques dégagées, l'on supprimait graduellement toute pression sous le piston de la presse centrale, et l'appareil descendait jusqu'à ce que ses roues de translation vinssent au contact des rails placés à demeure sur la jetée. L'appareil portait sur ces roues par l'intermédiaire de puissants ressorts en lames. Une fois les roues sur les rails, on relevait au moyen de vérins, le cylindre de la presse centrale et on l'accrochait ainsi que le chemin circulaire au corps de la poutre. On produisait ensuite le mouvement de translation en hâlant sur un cordage, au moyen du cabestan G, qui était mû par une petite machine spéciale, suspendue au côté droit de l'appareil.

Tel que nous venons d'essayer de le décrire, cet appareil pouvait immerger les blocs de 40 tonnes à 13 mètres de l'axe des appuis d'avant, les blocs de 115 tonnes à $6^{m},800$.

Lorsque le chariot était dans la position indiquée sur le dessin, avec un bloc de 40 tonnes, la somme des moments tendant au renversement autour des appuis d'avant était représentée par le nombre 1338; tandis que le moment de la partie de l'appareil situé en arrière des appuis était représenté par. 1575

Différence en faveur de la stabilité. 237

S'il s'agissait d'un bloc de 106 tonnes, immergé à $7^{m},100$ des appuis le moment de renversement en avant était représenté par 1154
ce qui donnait en faveur de la stabilité. 421

La stabilité n'était pas moins grande au moment du soulèvement. Le renversement tendait à se faire alors autour des appuis d'arrière. Les moments tendant à produire ce renversement étaient représentés par. 1067
tandis que les moments de la partie antérieure de l'appareil étaient. 1307
Soit pour la stabilité. 240

De même que pour l'arrimage en tranches inclinées indépendantes,

les constructeurs du port de la Réunion ont eu des précurseurs dans l'emploi et la manœuvre des grands blocs : à Brest, comme on sait, les assises inférieures des môles du port de commerce sont établies en blocs de 100 tonnes. Mais là on avait recours pour le soulèvement, à l'effort de la marée, précieux auxiliaire qui faisait défaut, à la Réunion. Les blocs des quais de Dublin pèsent 320 tonnes chacun, mais ils sont soulevés par des appareils flottants, de même qu'à Carlingford et en quelques autres endroits. Enfin, citons encore M. Parkes, qui pour la construction des jetées de Kurrachee dont nous avons déjà parlé, a employé une grue roulante qu'il appelait aussi un titan. Mais cet appareil ne soulevait que des blocs de 30 tonnes; il était dépourvu de tout moyen d'orientation et ne pouvait travailler que droit devant lui, sans pouvoir poser à droite où à gauche. Il y a donc loin de ces appareils à celui de la Réunion et ce n'est qu'au point de vue historique qu'il convient de les rappeler ici.

C'est à l'aide de cet appareil qu'on a pu construire des jetées qui ont su résister à tous les efforts d'une mer souvent furieuse. Les raz de marée, les grandes houles sont venues d'une façon presque continue s'opposer à la construction.

Les blocages de la plate-forme ont été détruits, refaits, détruits encore sur chaque mètre d'avancement.

Les blocs de base à peine posés étaient affouillés, déplacés, et combien de fois n'a-t-il pas fallu, saisissant de jour ou de nuit l'occasion d'une accalmie, les reprendre, dresser à nouveau leur lit de pose, les remettre en place, puis voir encore une fois, l'œuvre à peine commencée, interrompue et menacée par une nouvelle fureur de l'Océan. Il en a été ainsi, tant que l'appareillage de la jetée, n'a pas été complet.

En résumé, on a travaillé un jour sur trois, et plus de la moitié du temps a été employé en réfections. Pour poser les 12,592 mètres cubes de blocs de la jetée sud, il a fallu 18 mois et demi (de mai 1880 à décembre 1881), soit moins de 750 mètres cubes par mois. A l'abri de cette première jetée, celle du nord en a eu moins à redouter des lames. et sa construction n'a duré que dix mois (de mars à décembre 1882).

Or, si l'on considère que cet appareil peut poser par heure, au moins un bloc de 46 mètres cubes, ces dates donnent une idée de la lutte incessante qu'il a fallu soutenir pour construire les deux jetées de la Réunion, qui, à elles deux représentent 27,000 mètres cubes.

En raison même de ces difficultés, des lenteurs et des dépenses dont

elles ont été la cause, on ne peut pas tirer de ce qui s'est fait à la Réunion une indication sur le prix de revient normal de ce procédé de construction.

On peut néanmoins se rendre compte que dans des mers plus clémentes, un appareil comme celui dont nous venons de parler, qui ne consomme presque pas de combustible, qui ne demande que quelques hommes pour sa manœuvre, dont l'entretien, grâce à la perfection de la construction, est presque nul, un tel appareil permet d'établir économiquement des ouvrages d'une résistance qu'on peut, pour ainsi dire, faire aussi grande qu'on le voudra.

Je m'arrête, messieurs. Je n'ajoute plus qu'un mot : les travaux du port de la Pointe des Galets touchent à leur fin. Il n'y a plus aujourd'hui que 500,000 mètres cubes à draguer pour terminer une œuvre qui n'a pas été sans peines et sans déceptions, mais qui, par la grandeur des résultats, justifiera les efforts employés à son achèvement. Ces résultats, M. Lavalley vous les a fait pressentir au début de la séance.

Un port à la Réunion, c'est la sécurité pour la marine de commerce, la vie conservée à ses équipages toujours sous le coup d'un cyclone. En une seule tempête, il y a eu 30 navires désemparés ; — 3 ont complètement disparu ; 56 hommes ont péri.

Un port à la Réunion, c'est donner à cette colonie si patriotique, si française, dont nous gardons tous un si vif souvenir, le moyen, en facilitant ses échanges, de relever sa prospérité déchue ; c'est enfin donner à notre marine de guerre une base d'opérations, un point de ravitaillement, qui lui font défaut, dans cette vaste étendue de l'océan Indien.

Si ces considérations vous rendent sympathiques à cette œuvre, je me reprocherai moins d'avoir trop longtemps retenu votre attention.

PORT DE LA RÉUNION

APPAREIL DE POSE DE BLOCS

DONNÉES PRINCIPALES

Portée maximum pour l'immersion des blocs de 40^{t}, mesurée à partir du milieu des appuis d'avant		13^{m}.000
Portée maximum pour l'immersion de blocs de 127^{t}.500		6^{m}.850
Profondeur maximum d'immersion au-dessous du niveau de la mer.		15^{m}.000
Distance d'axe en axe des appuis d'avant et d'arrière		12^{m}.500
Moteur.	Diamètre des pistons	0^{m}.230
	Course des pistons	0^{m}.300
	Nombre de tours maximum par minute	150
	Surface de chauffe de la chaudière	25^{m2}
	Tension maximum de la vapeur	6^{k} $^{1}/_{2}$
Vitesses d'élévation et d'immersion des blocs.	Vitesse d'élévation par minute pour blocs de 127^{t}.500 (les machines marchant à 100 tours par minute)	0^{m}.220
	Vitesse d'immersion par minute pour les mêmes blocs. (Même vitesse de machines)	0^{m}.650
	Vitesse de relevage des chaînes. (La machine à 150 tours)	0^{m}.975
	Nota. — Pour les blocs d'un poids inférieur à 127^{t}.500, les vitesses d'élévation et d'immersion peuvent être successivement augmentées jusqu'à 0^{m}.330 pour l'élévation, et 0^{m}.975 pour l'immersion en portant la vitesse de la machine à 150 tours par minute.	
Appareils hydrauliques.	Diamètre du piston hydraulique du pivot central.	1^{m}.000
	Course du piston (environ)	0^{m}.150
	Diamètre des pistons des presses hydrauliques horizontales de giration	0^{m}.175
	Course maximum de ces pistons	2^{m}.435
	Angle maximum de giration	180°
Poids de l'appareil		234.608^{kgs}
Poids du chariot		65.527
	Poids total	300.135^{k}

NOTE SUR LES TRAVAUX DU PORT DE LA RÉUNION.

CHRONIQUE

Sommaire. — Refroidissement artificiel des eaux de condensation. — Essai de machines locomobiles. — Matériel roulant des lignes secondaires des chemins de fer de l'État prussien. — Prix de revient des transports par chemins de fer et par canaux. — Les moulins à vent aux États-Unis. — Sécurité de la navigation.

Refroidissement artificiel des eaux de condensation. — Il est beaucoup de cas où, faute d'une quantité d'eau suffisante, on a intérêt à se servir de nouveau des eaux de condensation et par conséquent à les refroidir. Le refroidissement naturel exige des emplacements énormes, on est donc conduit à activer la réfrigération par des moyens artificiels. L'emploi d'un courant d'air est le moyen le plus employé.

Le professeur Wellner a donné, dans *l'Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, la théorie d'un procédé de ce genre.

Appelons P le poids de vapeur qui passe par heure de la machine au condenseur, P′ le poids d'eau d'injection employé à condenser le poids P de vapeur, τ et τ_0 les températures de la vapeur et de l'eau d'injection avant l'entrée au condenseur, τ' la température du mélange provenant de la condensation; la quantité de chaleur cédée par la vapeur dans sa condensation en eau à τ' est, en prenant 1 pour la chaleur spécifique de l'eau, dans les conditions considérées

$$P\,(606{,}5 + 0{,}305\,\tau - \tau');$$

la quantité de chaleur gagnée par l'eau d'injection est

$$P'\,(\tau' - \tau_0)$$

d'où

$$\frac{P'}{P} = \frac{606{,}5 + 0{,}305\,t - \tau'}{\tau' - \tau_0}\,; \qquad (1)$$

$$\text{et}\ \tau' = \frac{606{,}5 + 0{,}305\,\tau + \frac{P'}{P} - \tau_0}{\frac{P'}{P} + 1} \qquad (2)$$

La pompe à air extrait du condenseur un poids d'eau P + P′ ayant la température τ, et il s'agit de refroidir cette eau de manière à en retirer un poids P′ à τ_0, qui constituera l'eau d'injection primitive comme quantité et comme température.

La quantité de chaleur à absorber est

$$(P + P')\,(\tau' - \tau_0) = P\,(606{,}5 + 0{,}305\,\tau - \tau^0) \qquad (3)$$

puisqu'on doit la faire disparaître par l'évaporation du poids P d'eau correspondant à la vapeur condensée.

L'appareil réfrigérant, proposé par le professeur Wellner, se compose d'un gros conduit métallique à section carrée légèrement incliné, contenant des toiles tendues verticalement les unes à côté des autres; l'eau venant de la pompe à air coule sur les toiles, tandis que l'air circule entre elles.

Dans le calcul du volume d'air nécessaire pour opérer le refroidissement, on suppose la saturation complète de l'air à sa sortie de l'appareil, ce qui nécessite une surface suffisante pour les toiles imbibées d'eau.

Soient τe et Te, les températures relative et absolue de l'air à l'entrée de l'appareil;

$$\tau a = \frac{\tau' + \tau o}{2} \text{ et } Ta \text{ les températures de l'air à la sortie;}$$

Ve et Va les volumes exprimés en mètres cubes de l'air à l'entrée et à la sortie;

He et Ha, la pression maxima de la vapeur d'eau en centimètre de mercure pour τe et τa;

$\gamma = 1,293$ le poids d'un mètre cube d'air à 0 degré et à $0^m,76$ de pression.

$\delta = 0,623$ la densité de la vapeur d'eau saturant l'air atmosphérique, cette quantité supposée constante aux températures considérées.

Si on prend les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire l'air à peu près saturé de vapeur à l'entrée de l'appareil, on a

$$Qe = Ve\,\delta\gamma\,\frac{He}{760}\,\frac{273}{Te}$$

pour le poids de vapeur à l'entrée et

$$Q = Va\,\delta\gamma\,\frac{Ha}{760}\,\frac{273}{Ta}$$

pour le poids à la sortie de l'appareil.

Comme la pression de l'air ne change pas, on a

$$\frac{Va}{Ta} = \frac{Ve}{Te} \text{ et } Q = P = 0,289\,\frac{Ve}{Te}(Ha - He)$$

d'où on tire :

$$Ve = 3,46\,\frac{Q\,Te}{Ha - He} = 3,46\,Q\,\frac{273 + \tau e}{Ha - He} = 3,46\,P\,\frac{273 + \tau e}{Ha - He} \qquad (4)$$

On peut admettre pour τe, la valeur moyenne de 18 degrés et pour $\tau a\ \frac{\tau' + 6^\circ}{2} = 34^\circ$.

On a alors d'après Regnault :

$$He = 15,36^{mm}, \text{ et } Ha = 33,56^{mm}, \text{ d'où } Ve = 41,6\ P.$$

Il faut donc, en supposant la saturation de l'air complète, faire passer

41,6 mètres cubes d'air pour chaque kilogramme de vapeur employé par la machine, mais dans les conditions les plus défavorables. Toutefois l'auteur admet qu'en pratique on peut compter au maximum sur 50 mètres cubes. La puissance nécessaire pour déplacer ce volume d'air représente le sixième de la puissance produite par le poids correspondant de vapeur dans la machine, mais, comme on peut admettre que l'emploi de la condensation produira une économie de vapeur de 35 pour 100 au moins, il restera encore un avantage important, même en tenant compte du rendement médiocre des ventilateurs. Le professeur Wellner évalue cet avantage de 10 à 15 pour 100 au minimum.

Essai de machines locomobiles. — La Société d'agriculture de la Marche de Brandebourg a fait en octobre 1883 des essais comparatifs très intéressants entre des locomobiles de divers systèmes; ces essais, dont on trouve le compte rendu très détaillé dans le *Civil ingénieur*, ont été exécutés par une commission composée de M. Schotte, de Berlin, le professeur Brauer, de Berlin, le docteur Bunte, de Munich, le professeur Consentius, de Berlin, l'ingénieur Max Eyth, de Bonn, et l'ingénieur Schneider, de Berlin.

Les machines soumises aux essais étaient au nombre de six, savoir :

N° 1. Locomobile de 8 chevaux, de R. Dolberg, de Rostock;

N° 2. Locomobile de 10 chevaux, de R. Wolf, de Buckau-Magdebourg;

N° 3. Locomobile de 8 chevaux, de Olaf Onsum, de Christiania;

N° 4. Locomobile de 10 chevaux, de F. Siegel, de Schoenbeck;

N° Locomobile Compound de 12 chevaux, de Ruston Proctor et Ce, de Lincoln;

N° 6. Machine demi-fixe Compound à condensation, de 40 chevaux effectifs, de R. Wolf, de Buckau-Magdebourg.

Les machines autres que les deux Compound étaient à un seul cylindre. Voici les dimensions principales de toutes les machines.

DÉSIGNATION	1	2	3	4	5	6
Diamètre de cylindres	$0^{m},245$	0,208	0,235	0,180	0,178 0,280	0,280 0,470
Course de piston	$0^{m},355$	0,300	0,365	0,375	3,356	0,400
Nombre de tours par minute	114	130	106	138	128	88
Pression à la chaudière	$4^{kg},20$	7,20	5	7	8,5	6
Surface de grille	$0^{mq},53$	0,26	0,49	0,32	0,58	0,61
Surface de chauffe	14^{mq}	13,95	16,37	13.95	19,81	42
Nombre de tubes	27	43	31	37	50	92
Diamètre des tubes	$63^{m}/_{m}$	50	70	53	53	58
Eau dans la chaudière	730 lit.	800	700	1000	635	4000

Toutes les machines avaient des enveloppes de vapeur aux cylindres et des réchauffeurs d'eau d'alimentation. La locomobile de Wolf, n° 2, avait un tiroir à canal de Trick et la machine Compound demi-fixe du même constructeur, n° 6, avait au petit cylindre un tiroir spécial de détente commandé par le régulateur (système Rieder). La locomobile Compound de Ruston Proctor, n° 5, avait aussi au petit cylindre un tiroir de détente contrôlé par le régulateur. Les autres machines avaient un tiroir ordinaire.

La machine de Dolberg, n° 1, était disposée pour brûler de la tourbe, et il a été fait un essai spécial dans ces conditions (colonne n° 1 du tableau, page 511); on a trouvé pour la tourbe employée un pouvoir calorifique de 2985. Le charbon employé aux essais provenait de la haute Silésie et avait, d'après l'analyse, un pouvoir calorifique de 6592.

Pendant les essais, on a analysé à plusieurs reprises les gaz de la boîte à fumée; leur composition a fait reconnaître que, si la quantité théorique d'air nécessaire à la combustion est prise pour unité, la quantité réelle d'air est pour la marche normale dans les six machines :

1	2	3	4	5	6
1.8	1.7	1.4	1.6	1.5	1.2

Dans la machine Dolberg n° 1, brûlant de la tourbe, la quantité d'air était de 1.8. Ces chiffres diffèrent, comme on le voit, très peu les uns des autres.

Voici comment se répartit la chaleur développée par le combustible; la colonne n° 7 se rapporte à la locomobile Dolberg brûlant de la tourbe.

DÉSIGNATION	1	2	3	4	5	6	7
Chaleur convertie en vapeur.	52.2	57.0	60.3	57.1	58.8	55.9	63.2
Chaleur perdue en fumée, cendres, etc.	37.2	24.9	24.7	28.2	27.9	24.9	24.9
Chaleur perdue par refroidissement calculé	6.1	6.7	5.6	4.6	6.0	7.1	8.1
Pertes inconnues	4.5	11.4	9.4	10.1	7.3	12.1	3.8
Chaleur totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

On avait préalablement fait des essais minutieux pour constater la quantité d'eau entraînée avec la vapeur, au moyen du procédé du professeur Brauer, qui consiste à mélanger à l'eau de la chaudière une très faible proportion d'un sel soluble et à analyser de temps en temps l'eau de la chaudière et en même temps l'eau provenant des robinets purgeurs des cylindres. On trouva que toutes les chaudières produisaient de la vapeur presque

absolument sèche, à l'exception de la chaudière de la locomobile Siegel, dont la vapeur contenait 1.7 pour 100 d'eau.

Dans les essais, toutes les machines ont été conduites successivement par le même chauffeur et ont marché chacune dix heures avec le frein; pendant cette période, on relevait fréquemment des diagrammes d'indicateur des deux côtés du piston.

Le tableau ci-joint donne les résultats de ces essais.

Essais de machines locomobiles.

DÉSIGNATION	1 Charbon.	1 Tourbe.	2	3	4	5	6
Allumage. bois	5	»	5	5	5	5	5
Allumage. charbon	53.10	»	39.6	38.4	43.8	36.15	107.5
Durée de l'allumage et de la mise en pression	59 min.	»	72m	76m	117m	61m	75m
Durée totale de l'essai	7h,49m	6h	7h,43m	7h,43m	7h,53m	7h,51m	6h,57m
Nombre de tours par minute	114	114	130	106	138	128	88
Pression effective à la chaudière	3.96	3.95	6.86	4.6	6.44	7.88	5.53
Travail mesuré au frein	8.3	8.3	15	20.2	14.7	29.5	48.9
— à l'indicateur	11.2	»	18	22.7	20	35.5	56.2
Rapport des deux	0,74	»	0.83	0.89	0,73	0.83	0,87
Combustible. total	284	364	223	419	344	393	452
Combustible. par heure	36.3	»	28.9	54.3	46.3	50	65
Combustible. par heure et mètre carré de grille	68.7	115	111.5	110.8	137.4	87	106
Combustible. par heure et cheval au frein	4.38	7.31	1.93	2.68	2.96	1.70	1.33
Eau d'alimentation. température à la bâche	13°	12°	13°	12°	12°	12°	12°
Eau d'alimentation. — à l'entrée à la chaudière	58°.5	51°	71°	55°	45°,4	56°,3	33°,5
Eau d'alimentation. poids total	1826	1276	1586	3092	2348	2802	2970
Eau d'alimentation. — par heure	233	213	205	400	298	357	428
Eau d'alimentation. — par heure et cheval au frein	28.1	25.6	13.7	19.8	20.3	12.1	8.74
Eau d'alimentation. par heure et mètre carré de chauffe	16.6	15.2	14.8	24.4	19.9	18	10.1
Eau d'alimentation. par kilog de combustible	6.43	3.50	7.11	7.37	6.83	7.13	6.57

Nous nous bornerons à signaler les consommations de vapeur des deux machines Compound; celle de la machine sans condensation est encore de 11 pour 100 inférieure à celle de la machine ordinaire qui a dépensé le moins et de 40 pour 100 inférieure à la suivante. La dépense de la machine Compound à condensation est de 27 pour 100 inférieure à celle de la machine du même système sans condensation, ce qui indiquerait pour l'emploi de la condensation, au moins pour des machines déjà économiques, un

avantage moins considérable qu'on ne le croit généralement. (Voir Société des ingénieurs civils, séances des 19 octobre et 2 novembre 1877.)

On remarquera également la faible valeur des résistances propres des machines, lesquelles n'ont été pour certaines que de 11 et 13 pour 100 du travail brut produit par la vapeur sur le piston.

Matériel roulant des lignes secondaires des chemins de fer de l'État prussien. — Nous trouvons dans les résumés annexés aux *Minutes of Proceedings* de l'*Institution of Civil Engineers* une note extraite des *Verhandlungen des Vereines für Eisenbahnkunde* (Association des chemins de fer) de Berlin, sur les types de matériel roulant adoptés pour les lignes secondaires des chemins de fer de l'État prussien.

Il a été, depuis 1879, construit 2,953 kilomètres de lignes secondaires en Allemagne et il a paru nécessaire d'adopter des types uniformes de matériel roulant pour ce genre de lignes. L'administration a fait une enquête auprès des lignes secondaires existantes pour se renseigner sur les questions suivantes : rampe maxima, rayon minimum des courbes, charge à faire porter aux rails, distances entre les prises d'eau d'alimentation, nombre de trains par jour, etc., emploi du matériel ordinaire des grandes lignes ou emploi d'un matériel spécial. Cette enquête donna pour la rampe maxima 28 millièmes, pour le rayon minimum des courbes de 200 à 400 mètres, sauf deux cas où ce minimum descendait au-dessous de 180 mètres. La charge par roue variait de 5 à 7 tonnes.

On admit par suite que, pour les lignes à courbes d'au moins 250 mètres de rayon, les écartements d'essieux seraient de 5 mètres et que, pour les lignes à courbes de moindre rayon, ces écartements descendraient à 4 mètres; la charge maxima de chaque roue fut fixée à 5 tonnes, même pour le cas où les voies seraient, pour des raisons particulières, posées avec des rails plus lourds. On recommandait l'emploi de machines tender à quatre et six roues couplées; il ne devait pas être construit de wagons spéciaux pour les marchandises, ces voies utilisant le matériel de transport des grandes lignes.

Les types adoptés par la conférence comprennent :

1° Des machines tender à 4 roues couplées de 20 tonnes;

2° — — 6 — — de 30 —

3° Des voitures à 4 roues comprenant 2ᵐᵉ et 3ᵐᵉ classes, de 4 et 5 mètres d'écartement d'essieux;

4° Des voitures à 4 roues pour 3ᵐᵉ classe, de 4 et 5 mètres d'écartement d'essieux;

5° Des voitures à 4 roues pour 4ᵐᵉ classe, de 4 et 5 mètres d'écartement d'essieux;

6° Des fourgons pour bagages et postes de 4 et 5 mètres d'écartement d'essieux;

Voici les dimensions principales des locomotives :

DÉSIGNATION.	MACHINES à 4 roues.	MACHINES à 6 roues.
Diamètre des cylindres	0m,270	0,350
Course des pistons	0m,550	0,550
Diamètre des roues	1m,080	1,080
Écartement des essieux extrêmes	2m,500	3,000
Pression à la chaudière	12kg	12kg
Surface de grille	0mq,82	1,30
Surface de chauffe	41.8	60.4
Capacité des caisses à eau	2.500	4.000
Capacité des soutes à charbon	600	900
Poids de la machine vide	15.600	21.900
Poids de la machine en service	20.490	29.200

On voit que ces types sont établis pour donner un grand effort de traction à une vitesse modérée, celle-ci devant être de 15 kilomètres au moins et de 30 au plus. Les machines à six roues couplées peuvent développer 240 à 260 chevaux, puissance qui, dans les limites de vitesse indiquées, correspond à 4,200 et 2,350 kilogrammes d'effort de traction.

Les machines à quatre roues coûtent 22,500 francs et les machines à six roues 30,000 francs.

Les voitures à voyageurs sont du type américain ; pour le moment on n'a pas prévu de compartiments de première classe; on n'en fera que si la demande s'en fait sentir; d'autre part, bien qu'on ait prévu des voitures de quatrième classe, on n'en mettra pas dans tous les trains. Toutes les voitures sont chauffées, ventilées et éclairées au gaz. Les trains sont munis de freins continus du système Heberlein (corde).

Prix de revient des transports par chemins de fer et par canaux. — Nous trouvons dans le même recueil le résumé d'une étude comparative sur le prix de revient des transports par chemins de fer et par canaux de M. von Borries, ingénieur des chemins de l'État de Hanovre, dont nous avons déjà plusieurs fois cité le nom à propos des locomotives Compound. Cette étude a paru dans le *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.*

A l'occasion du projet destiné à mettre en communication les districts houillers de Westphalie avec Emden, projet dont nous avons déjà eu occasion de parler[1], l'auteur compare le prix des transports par canaux et par une ligne minérale à une seule voie, ayant un petit nombre de stations et des frais généraux réduits.

Il suppose un trafic journalier de huit trains de soixante wagons allant en charge vers Emden et douze wagons par train chargés au retour. Le

1. Chronique de février et juin 1882 et février 1884.

prix de construction est évalué à 150,000 francs par kilomètre, ce qui est le prix d'un certain nombre de lignes établies dans la région.

Le prix du train-kilomètre ressort comme suit :

Entretien et renouvellement des locomotives.	0 fr.	12
Combustible	0	24
Graissage, nettoyage	0	05
Entretien et renouvellement des wagons.	0	29
Éclairage et chauffage des fourgons	0	02
Salaire des mécaniciens, primes comprises.	0	14
Salaire des garde-freins, primes comprises	0	25
Surveillance du matériel roulant.	0	13
Service des stations	0	31
Entretien et surveillance de la voie	0	43
Administration.	0	15
Intérêt à 4 pour 100 l'an sur les dépenses d'établissement de la ligne et du matériel roulant.	1	45
Total	3	58

La charge de chaque train étant de $60 \times 6 = 360$ tonnes, le prix de revient de la tonne-kilomètre est donc de $\frac{3.58}{360}$, soit presque exactement *un centime.*

Le transport sur les canaux de l'Elbe coûte un peu plus de 2 centimes par tonne kilométrique et, sur les canaux qui amènent les charbons de Belgique à Paris, 1 centime et trois quarts au printemps et 2 centimes à l'automne de 1883, le tout sans intérêt sur les dépenses d'établissement des canaux. Si on estime à 250,000 francs par kilomètre les frais de construction du canal projeté vers Emden et qu'on ajoute au plus bas des chiffres ci-dessus l'intérêt à 4 pour 100 des dépenses de construction, on arrivera à un prix de revient de 2 centimes et demi, alors que la tonne-kilomètre ne coûtera que 1 centime par chemin de fer. Les éléments du prix de revient par cette dernière voie sont ceux de lignes du même genre qui existent en Allemagne.

Les moulins à vent aux États-Unis. — Nous avons déjà eu occasion (voir Chronique de septembre 1883, page 331), de signaler l'emploi considérable qui est fait des moulins à vent aux États-Unis. Une communication, faite le 9 avril 1884 au Club des Ingénieurs de Saint-Louis par M. James W. Hill, donne d'intéressants détails sur cette question capitale pour d'immenses districts où l'eau est presque partout sous le sol à une profondeur plus ou moins grande et a besoin d'y être amenée à peu de frais.

L'auteur décrit un type très employé de moulin à vent, désigné sous le nom de *moulin Éclipse* ou moulin à roue pleine. Ce type se distingue par

la forme de la roue dont les ailes occupent toute la surface du cercle, sauf une très petite portion centrale. Cet appareil est réglé automatiquement par une disposition très ingénieuse consistant en une aile-gouvernail placée latéralement et qui tend par conséquent sous la pression du vent à faire effacer la roue, mais le déplacement de l'ailette-gouvernail est réglée par l'action d'un levier à contrepoids, de sorte que la roue s'efface plus ou moins suivant la force du vent pour arriver à ne présenter que sa tranche, lorsque le vent devient tellement violent qu'on pourrait avoir à redouter des avaries pour l'appareil; ainsi un moulin de $6^{m},70$ de diamètre qui présente au vent en travail normal une surface de 33 mètres carrés, ne lui offre plus qu'une surface de $0^{mc2},85$, lorsqu'il est entièrement effacé.

Ces moulins fonctionnent d'une manière parfaitement régulière et ont pu supporter sans accident des coups de vent qui ont gravement endommagé des constructions avoisinantes. Ils sont surtout employés pour élever l'eau et sont très commodes pour les distributions d'eau des villes de médiocre importance.

On peut citer comme exemple Arkansas City, dans le Kansas. On y a établi au printemps de 1881 un moulin à vent de $4^{m},30$ de diamètre avec un réservoir de 145 mètres cubes posé sur un massif en maçonnerie de $4^{m},50$ de hauteur, le sol étant à cet endroit à $1^{m},20$ en contre-haut de la conduite principale de la ville. La canalisation se compose de 425 mètres de tuyaux en bois de $0^{m},10$ de diamètre intérieur et de 360 mètres de tuyaux en fer de 37 millimètres. Il y a sur la conduite principale trois bouches à incendie de 75 millimètres. Le moulin est à 330 mètres du réservoir et monte l'eau à 16 mètres d'élévation. Il donne de 80 à 90 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Cette installation a déjà servi à éteindre deux incendies ; l'eau sert à l'arrosage des rues et à l'alimentation des maisons dans des conditions remarquables de bon marché ; les maisons particulières payent 25 francs par an, les magasins 25 francs, les hôtels 50 francs, etc. Ces taxes produisent un revenu annuel de 1,500 francs à la ville. Comme l'installation complète n'a coûté que 10,000 francs, le revenu brut se trouve être de 15 pour 100. Il faut ajouter que l'entretien n'a pas coûté jusqu'ici 25 francs par an.

En juin 1883, il a été fait une installation du même genre à Mac-Pherson, Kansas. Le moulin, de $6^{m},60$ de diamètre, est disposé sur une tour de 22 mètres de hauteur et élève l'eau d'un puits de 24 mètres de profondeur dans un réservoir de 275 mètres cubes placé sur un soubassement en maçonnerie de 13 mètres de hauteur. La canalisation se compose de conduites en fonte, dont 480 mètres de $0^{m},125$ et 90 mètres de $0^{m},100$, Il y a dans les rues principales huit bouches à incendie de 60 millimètres. On a pris une excellente précaution qui consiste à placer la vanne de prise d'eau des conduites à la moitié de la hauteur du réservoir, de sorte qu'il reste toujours dans celui-ci la moitié du volume pour le cas d'incendie ; une vanne spéciale placée au fond du réservoir sert pour ce cas spécial. Le moulin

donne de 130 à 170 mètres cubes d'eau pour vingt-quatre heures. La distribution d'eau complète a coûté 30,000 francs.

Au mois de novembre 1883, on a installé un moulin à vent sur une houillère à Richmond, dans des conditions particulières que voici : la mine donne environ 50 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures; le puisard peut contenir un volume égal, deux galeries qu'on peut barrer emmagasinent 75 mètres cubes, de sorte qu'on peut avoir une capacité totale de 125 mètres cubes comme réservoir, quand le moulin ne marche pas; cette quantité représente la production de soixante heures. La hauteur moyenne d'élévation est de 20 mètres. Des observations de quatre-vingt-dix jours, il résulte que la mine a toujours été tenue à sec, sauf une vingtaine de mètres cubes qu'on a dû enlever dans les bennes qui servent à monter le charbon. Il faut dire que l'emplacement était très peu favorable pour un moulin à vent, celui-ci se trouvant dans un fond abrité par des collines. De plus, l'eau de la mine contenait du sable qui usait le corps de la pompe si rapidement qu'après quelques jours le volume d'eau débité était sensiblement réduit.

Les localités sont situées plus ou moins avantageusement pour l'emploi des moteurs à vent. Il a été fait des observations très suivies pour Saint-Louis. On a trouvé qu'en 1881 la répartition des vents d'une vitesse de 10 à 32 kilomètres à l'heure s'était faite de la manière suivante :

Vents de	10	kilomètres	au moins	7,024	heures
—	13	—	—	5,529	—
—	16	—	—	3,981	—
—	20	—	—	2,995	—
—	23	—	—	1,946	—
—	26	—	—	1,335	—
—	29	—	—	868	—
—	32	—	—	606	—

La vitesse maxima du vent pendant toute l'année a été de 60 kilomètres et c'est au mois de mars qu'elle s'est produite; après vient le mois d'août; le minimum s'est produit au mois de juillet. En somme, l'année en question a donné 7,000 heures avec un vent pouvant actionner un moulin, soit *tout près des quatre cinquièmes de l'année*. Or, Saint-Louis ne peut passer pour une localité très exposée au vent. Les observations qui viennent d'être reproduites ont été obtenues avec l'anémomètre du *Signal Office* des États-Unis.

Ces moulins sont également très employés dans les fermes pour battre, nettoyer et moudre les grains, élever l'eau, actionner des scieries, etc.; on emploie avec eux des transmissions télodynamiques.

Les moulins à roue pleine ne se construisent pas au-dessus de 10 mètres de diamètre; pour de plus grandes puissances on emploie le type dit *Warwick*.

Un appareil de ce genre de 18 mètres de diamètre, établi dans le Minne-

sota en 1867, fonctionne très bien, même avec des vents de 25 kilomètres de vitesse; il a eu à subir deux cyclones, l'un en 1870, l'autre en 1881. A part ces deux accidents, qui ont causé chacun un arrêt d'un mois et une dépense de 1,200 francs, l'appareil n'a pas coûté plus de 50 francs par an d'entretien. Le propriétaire, qui employait avant un moteur hydraulique, dit que ce moteur lui avait coûté comme réparations autant en six ans que le moulin à vent en seize ans.

Ces engins ont rendu de très grands services dans l'immense plateau qui s'étend entre la vallée du Mississipi et les Montagnes Rocheuses, du golfe du Mexique à la rivière Rouge du Nord; on n'y trouve l'eau qu'à des profondeurs au-dessous du sol, variant de 30 à 150 mètres. L'eau montée par ces moulins permet d'élever dans ces plaines de grandes quantités de bestiaux; cette eau, tirée d'une certaine profondeur, a l'avantage très apprécié d'être toute l'année à la même température et est par conséquent d'un usage beaucoup plus sain pour les animaux.

Nous devons d'ailleurs rappeler que l'emploi des moulins à vent pour les distributions d'eaux des petites villes n'est pas spécial aux États-Unis et que notre collègue, M. Schabaver, a réalisé un assez grand nombre d'applications de ce genre dans le midi de la France, ainsi que nous l'avons indiqué dans la Chronique de décembre 1883, page 738.

Sécurité de la navigation. — Les immenses progrès réalisés depuis quelques années par les steamers transatlantiques en vitesse, capacité de port et manière de se comporter à la mer ont énormément développé le mouvement des voyageurs, en faisant en grande partie disparaître l'appréhension qu'inspiraient toujours les voyages sur mer. La diminution d'un jour ou même de quelques heures dans une traversée amène une réduction correspondante du risque à courir, car, plus un navire est de temps à la mer, plus il court le danger de rencontrer des mauvais temps et des brouillards. Les assurances n'ont pas manqué d'apprécier ce fait et assurent les passagers à la journée et non au mille parcouru. Il en est de même pour les marins. On peut donc admettre que le risque est proportionnel à la durée de la traversée.

Le problème de la vitesse pouvant être considéré comme actuellement résolu d'une manière très satisfaisante, on doit se préoccuper aujourd'hui de celui de la sécurité, lequel a déjà, comme on vient de le voir, reçu un commencement de solution de la part du premier. Et, en fait, on peut signaler comme un fait remarquable que les collisions survenues depuis quelques années ont toutes eu lieu avec des navires à marche relativement lente et qu'aucune ne s'est produite avec des steamers à grande vitesse.

La plus grosse question est celle des abordages, car on peut admettre que, si un navire d'une certaine construction peut résister aux suites d'une collision, il doit être considéré comme apte à supporter les autres risques de la navigation. Jusqu'ici on a cherché à résoudre le problème par l'emploi de cloisons étanches convenablement placées dans le sens perpen-

diculaire à l'axe longitudinal du navire et montant de la quille au pont principal. Les compartiments ainsi formés peuvent communiquer par des ouvertures fermées par des portes étanches, de sorte qu'une voie d'eau produite dans un des compartiments ne puisse inonder les voisins. Mais il n'est pas rare, qu'en dépit des règlements les plus sévères, ces portes ne soient ouvertes quand il ne le faut pas et qu'un accident sans gravité ne tourne par là à la catastrophe. D'ailleurs, il est quelquefois arrivé que le choc se produit précisément à l'endroit d'une cloison étanche, amenant alors le remplissage de deux des compartiments. On a proposé bien des perfectionnements dans l'établissement de cloisons étanches, mais ils conduisent tous à des augmentations de dépense, ce qui fait qu'on les laisse de côté.

Une partie intéressante du problème de la sécurité du navire est le rapport entre le volume de coque et la charge ; convient-il de porter celle-ci à l'extrême limite, ou doit-on, en prévision d'un accident possible, laisser une certaine marge de flottaison destinée à parer à une voie d'eau, le navire pouvant encore rester à flot dans ce cas ?

La légèreté dans la construction réunie avec une résistance suffisante est la voie dans laquelle on est alors conduit pour ne pas trop perdre de la capacité de port du navire.

La multiplication des cloisons étanches est un moyen d'accroître la sécurité, elle donne en même temps une plus grande résistance à la coque ; les cloisons longitudinales, qui contribuent considérablement à fortifier celle-ci, ont l'inconvénient de rompre l'équilibre du navire et de l'exposer à chavirer, si plusieurs des compartiments venaient à se remplir d'un seul côté.

Autrefois le bois dont étaient construits les navires donnait déjà une certaine garantie par sa capacité de flottaison, mais le métal qui sert actuellement à la construction ne tend qu'à aller au fond de l'eau, et ce n'est qu'en formant des capacités closes qu'on le fait flotter. De là nécessité des doubles parois ou doubles fonds. Un navire en fer, de même volume extérieur et intérieur qu'un navire en bois, c'est-à-dire ayant des parois creuses de même épaisseur que les murailles de bois, aurait une très grande sécurité, car, même avec ces doubles parois plus ou moins remplies d'eau, il conserverait encore une sécurité complète. C'est une question de poids et de prix de construction.

Ces réflexions très judicieuses sont empruntées à l'*American Engineer*.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

AOUT 1884.

Rapport de M. ÉDOUARD SIMON sur des **perfectionnements apportés à la filature de la laine peignée**, par M. E. COMTE, filateur à Chantilly.

Ces perfectionnements reposent sur l'application d'un *casse-mèche* aux machines préparatoires de la filature de laine peignée. On sait que le casse-mèche, contrairement à son nom, ne détermine pas la rupture des mèches, mais révèle l'accident par l'arrêt des organes en mouvement. Or l'adaptation de ce dispositif au bobinoir présentait des difficultés particulières, à cause du nombre des bouts et du manque de place, et les essais faits jusqu'à ce jour n'avaient pas abouti.

M. Comte a eu l'idée d'effectuer le doublage des mèches à la sortie et non à l'entrée des machines, ce qui a l'avantage de diminuer le déchet par la suppression des entonnoirs d'alimentation et leur remplacement par des tringles d'embarrage et de permettre l'établissement des casse-mèches à la sortie du bobinoir, lequel n'offre pas les mêmes difficultés qu'à l'entrée.

Les bouts passent sous une bascule mobile qui, au moment de la rupture, tombe et arrête le mouvement de va et vient d'une barre ; cet arrêt, par des dispositions plus faciles à concevoir qu'à décrire, fait passer la courroie de la poulie motrice sur la poulie folle et produit l'arrêt de la machine.

L'emploi du casse-mèche sur les diverses machines de préparation, appliqué depuis deux ans dans un certain nombre de filatures, a donné des économies notables de main-d'œuvre et de matière.

Rapport de M. TRESCA sur les **appareils dynamométriques** de M. DENY.

Pour enregistrer un travail, il faut faire naître un déplacement qui soit proportionnel à la fois au chemin parcouru et à l'effort exercé, c'est-à-dire au produit de ces deux quantités. M. Deny propose de recueillir, pendant toute la durée de l'action à mesurer, un volume d'eau représentant la somme de tous ces produits, de sorte qu'il suffirait de jauger ce volume pour obtenir, à une certaine échelle, la mesure totale du travail. Une pompe actionnée par l'organe moteur débite l'eau qui se présente devant un orifice rec-

tangulaire divisé, dans sa largeur, par une cloison qui se déplace, d'après l'effort indiqué par un ressort dynamométrique préalablement taré. La largeur de l'orifice varie donc suivant l'effort à mesurer, et le débit sera réduit dans la même proportion par rapport au débit total de la pompe.

Cet appareil n'a pas été exécuté.

Le rapporteur considère l'idée sur laquelle il repose comme extrêmement ingénieuse, mais il incline à penser que les évaluations obtenues ne conviendraient pas pour des mesures de travail dans lesquelles on aurait besoin d'une grande précision.

Rapport de M. Boitel sur les **appareils à fabriquer le beurre** de M. Pilter.

La fabrication du beurre qui se fait depuis quelques années par des procédés mécaniques, comprend trois opérations :

L'écrémage,
Le barattage
Et le délaitage.

L'écrémage peut s'opérer par le froid ou mécaniquement. Dans ce dernier cas, on a recours à la force centrifuge ; ce dernier système qui date de 1877, donne des produits frais et sans la moindre altération, puisqu'on peut obtenir la crème instantanément et aussitôt après la traite et le rendement est notablement augmenté ; il ne faut que 25 litres de lait pour faire 1 kilogramme de beurre au lieu de 30 du même lait.

L'écrémeuse centrifuge n'a que le défaut d'exiger une certaine dépense et une force motrice, de sorte qu'on ne peut guère l'employer avantageusement que dans des exploitations traitant de 400 à 500 litres de lait par jour.

Pour des quantités moindres, on se sert du bidon Cooley, dont le plus petit modèle est de 8 litres. Le lait y est refroidi par de l'eau et la séparation s'opère en 12 heures.

Pour le barattage, la baratte danoise de forme conique et verticale a une supériorité bien reconnue.

Le délaitage, ou séparation du petit lait, peut se faire pour les exploitations suffisamment importantes avec un appareil de l'invention de M. Bagnet, qui est également basé sur l'emploi de la force centrifuge, laquelle opère le départ du petit lait.

L'usage de ces appareils mécaniques commence à se répandre notablement en France.

Rapport de M. Rousselle sur la **brosse rotative pour cirer les chaussures** de M. P. Audoye.

C'est une brosse circulaire montée sur un axe horizontal porté par un bâtis en fonte et recevant un mouvement de rotation d'une pédale, comme une machine à coudre. La surface extérieure de la brosse présente trois gorges,

dans lesquelles la chaussure à nettoyer est successivement présentée; dans la première gorge, la boue et la poussière sont enlevées, dans la seconde, la chaussure est enduite de cirage; la troisième gorge sert à donner le brillant.

Cet appareil peut rendre des services dans les hôtels, lycées, etc. Il est intéressant de signaler que le rapporteur indique qu'un engin fondé sur le même principe était employé à l'École polytechnique en 1838.

Notice sur M. Calla, membre **honoraire du conseil d'administration** de la Société d'**encouragement.**

Fabrication de l'aluminium, par M. W. Weldon. (Extrait du *Journal of the Chemical industry.*)

Sur la Vaseline, travail présenté au comité de l'Exposition hygiénique de Berlin, par M. J. Otto. (Extrait du *Moniteur scientifique.*)

Utilisation des résidus de pyrites, par M. J. Prentz (Extrait du *Chemische industrie*).

Programme des prix proposés par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale à décerner en l'année 1885.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

SEPTEMBRE 1884.

Paroles prononcées sur la tombe de **M. Graeff**, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite, par M. Delocre, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'art de bâtir chez les Byzantins, par A. Choisy, ingénieur en chef des ponts et chaussées; note de M. J. Darcel, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Ce travail est à proprement parler le second volume de l'*Art de bâtir chez les anciens*, dont le premier est l'*Art de bâtir chez les Romains.*

L'idée dominante et très juste de l'auteur est que les modifications dans l'architecture sont une conséquence des modifications de l'état social. A l'époque où les ouvriers spéciaux étaient très rares et les manœuvres, au contraire, recrutés parmi les esclaves et les condamnés, très abondants, on devait, dans l'exécution, développer l'emploi de ces derniers de préférence

aux premiers. C'est ainsi que procédaient les Romains, aussi trouve-t-on dans leurs ouvrages peu de maçonnerie exigeant une certaine précision dans la pose; les voûtes étaient faites par des procédés économiques. A l'époque du Bas-Empire, au contraire, la main-d'œuvre servile fait peu à peu défaut et le travail libre se développe; l'exécution des travaux devient plus soignée et plus savante et des maçonneries relativement minces se substituent aux énormes massifs des édifices romains.

Étude sur la **valeur comparative des tracés de routes** au point de vue des transports rapides, par M. Léon Durand-Claye, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

On s'est jusqu'ici préoccupé des tracés de routes au point de vue de la facilité et de l'économie qu'ils procurent au gros roulage marchant au pas, sans se préoccuper des voitures légères marchant au trot. Or, les recensements ont fait voir que ces dernières sont aujourd'hui presque aussi nombreuses sur les routes que les voitures du gros roulage.

Il est donc intéressant de pouvoir comparer les tracés au point de vue des avantages qu'ils procurent pour les transports rapides. L'intérêt principal, sinon le seul, est la rapidité; la méthode consiste donc à supposer que, sur chaque partie de la route, la vitesse est réglée de façon que la fatigue des chevaux soit uniforme, quelques variations que fassent subir à leur effort les accidents du profil en long, et à calculer le temps employé à parcourir le tracé dans ces conditions.

On cherche donc cette vitesse normale, laquelle peut s'exprimer par une formule algébrique applicable à toutes les allures, moyennant un choix convenable de coefficients numériques. L'auteur a dressé des tables donnant pour des déclivités variant de millième en millième de — 0,06 à + 0,06 les valeurs normales de V, de $\frac{1}{V}$ et de $\frac{V_o}{V}$, V_o étant la vitesse normale en palier.

Note sur la **construction à l'air comprimé des déversoirs du Coudray et d'Evry**, par M. Lavollée, ingénieur des ponts et chaussées.

Ces barrages, situés sur la haute Seine, aux environs de Corbeil, ont été reconstruits en 1882 et 1883 pour augmenter le tirant d'eau dans les biefs correspondants.

Les deux déversoirs du Coudray et d'Evry ont été construits dans des conditions tout à fait comparables au moyen de caissons foncés à l'air comprimé. Au premier, on s'est servi d'un caisson mobile du système Montagnier, ayant 156 mètres carrés de superficie et pesant 120 tonnes avec les cheminées et les sas à air. A Evry, on a employé le procédé ordinaire des fondations à l'air comprimé, avec des caissons de 220 et 226 mètres carrés de surface, en enlevant seulement les tôles supérieures au niveau du radier.

Le caisson mobile a été utilisé comme bâtardeau dans la seule caissonnée où l'on ait rencontré un sol imperméable. Les autres massifs ont été exécutés par soulèvements successifs et ces deux méthodes ont donné de très bons résultats. Mais le prix de revient a été plus élevé qu'avec le caisson ordinaire et la durée des travaux a été plus que doublée. Toutefois l'auteur de la note ne pense pas qu'on puisse conclure que le caisson mobile produit, dans tous les cas, une augmentation de prix et de temps, car, au Coudray, on a dû manœuvrer un caisson plus pesant et plus volumineux que les caissons employés auparavant, et par conséquent recourir à des précautions et à des tâtonnements particuliers. Il y avait de plus à tenir compte de circonstances spéciales qu'il est juste de faire entrer en ligne de compte. Il s'agissait d'ailleurs d'une première expérience. Au Coudray, le prix de revient du mètre cube de maçonnerie a été de 148 fr. 40, tandis qu'il n'a été que de 109 fr. 25 à Evry. Mais cette différence de 39 fr. 15 aurait pu être réduite à 11 fr. 90, si l'on avait rempli tous les caissons de maçonnerie, au lieu de s'arrêter à plus de 2 mètres en contre-bas de l'eau, et, d'ailleurs, plus il y aurait eu de cube, moins l'écart aurait été accentué.

L'emploi du caisson bâtardeau de notre collègue M. Montagnier offre le grand avantage de ne laisser aucune tôle dans l'ouvrage et surtout de supprimer le remplissage, si difficile de la chambre de travail qu'on est obligé d'opérer dans les caissons ordinaires. Il n'entraîne aucune dislocation dans les maçonneries pendant le fonçage et il constitue en somme un procédé très perfectionné qui paraît appelé à rendre les plus grands services dans l'exécution des travaux publics.

Enfin la comparaison des dépenses faites à différents barrages de la haute Seine montre qu'on peut, en substituant au système des bâtardeaux les caissons foncés à l'air comprimé, réaliser une économie sur les procédés ordinaires et supprimer tous les aléas que comportent la stabilité et l'étanchéité des enceintes formées par des bâtardeaux.

Note sur la **dépense d'un déversoir noyé**, par M. Alfred Salles, ingénieur des ponts et chaussées.

La dépense d'un déversoir noyé, c'est-à-dire dont le seuil est au-dessous du niveau du bief d'aval, peut être calculée par la formule suivante, proposée par M. Mary :

$$Q = m \, L \, H' \sqrt{2g \, H - H' + h}$$

dans laquelle L est la longueur du déversoir, H la hauteur du plan d'eau d'amont au-dessus du seuil, H' la hauteur du plan d'eau d'aval également au-dessus du seuil, h la hauteur due à la vitesse du courant en amont du déversoir, et m un coefficient que M. Mary, en l'absence de toute expérience connue, supposait devoir s'approcher de 0,80.

Des expériences faites au barrage de Bazacle, à Toulouse, ont permis de

N° 46. — 15 *Novembre* 1884.

Étude graphique de la théorie mécanique de la chaleur, par Gustave Herrmann (*suite*).

Nouvelle méthode pour la mesure directe des vitesses, par O. Smreker.

Pompes à vapeur à action directe, par H.-A. Hulsemberg (*suite*).

Groupe de Bergue. — Construction et fonctionnement d'un petit cubilot. — Usine à gaz d'Elberfeld.

Groupe de Cologne.

Groupe du Rhin inférieur. — Le métal Delta.

Groupe de Magdebourg. — Essai de locomobiles.

Le fléau de la fumée dans les villes et le moyen de s'en débarrasser, par R. Weinlig.

Patentes.

Bibliographie. — Ouvrages adressés à la Société.

N° 47. — 22 *Novembre* 1884.

Étude graphique de la théorie mécanique de la chaleur, par Gustave Herrmann (*fin*).

Progrès dans la fabrication du fer et de l'acier fondu par le procédé sur sole, par M. R. Daelen.

Groupe de Hambourg. — Installations centrales de chauffage.

Patentes.

Bibliographie. — Ouvrages adressés à la Société.

Correspondance. — Machines de laminoirs avec distribution de précision.

Le Rédacteur de la Chronique,

A. MALLET.

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Campement d'ouvriers.

du S

Anse

s.

ux

S

air

sc

alle

es

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

DÉCEMBRE 1884

N° 12

Pendant le mois de décembre, la Société a traité les questions suivantes :

1° *Statique graphique* (fondements et récentes applications de la) par M. Lévy (Maurice) membre de l'Institut (séance du 5 décembre, page 531).

2° *Chemins de fer d'intérêt local, avantages de la voie étroite*, par M. Auguste Moreau, (séance du 5 décembre, pages 532 et 557).

3° *Situation financière de la Société* (exposé de la), par M. le Trésorier, (séance du 19 décembre, page 537).

4° *Élections des membres du bureau et du Comité* (séance du 19 décembre, page 540).

Pendant le mois de décembre la Société a reçu :

De M. Hilairet, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire

sur la *Transmission électrique du travail mécanique, détermination des éléments de la transmission.*

De M. Barret, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur le *Port de Fiume*, adressé à M. le ministre des travaux publics de Hongrie.

De M. Hersent, membre de la Société, deux exemplaires de sa note sur l'*Examen des améliorations à exécuter au port de Bordeaux.*

De M. Léon Dru, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *Eaux minérales du Caucase.*

De M. Boca, membre de la Société, un exemplaire de sa communication faite au Congrès tenu à Reims en 1880 par l'Association française pour l'avancement des sciences, sur les *Tramways à air comprimé de Nantes, système Mékarsky.*

De M. Gaune, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur *le Choléra.*

De M. Bourles, directeur de l'École professionnelle de garçons, un exemplaire de son rapport sur l'organisation de l'*Enseignement professionnel à Saint-Chamond.*

De M. Dwelshauvers-Dery, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur *les moteurs à vapeur et autres machines diverses* à l'exposition internationale d'Amsterdam en 1883, section belge.

De la Chambre de commerce de Dunkerque un exemplaire du *Recueil des procès-verbaux de la Chambre de commerce de Dunkerque.*

De la *Société technique de l'industrie du gaz en France*, un exemplaire du compte rendu de son onzième congrès.

De M. de Coëne, membre de la Société, un exemplaire de sa *Déposition à la commission des voies navigables* (séance du 19 novembre 1884).

De M. Bertrand de Fontviolant, membre de la Société, un mémoire autographié de sa *Méthode générale analytique et Méthode graphique sur le calcul des poutres continues.*

De M. Marié, membre de la Société : 1° un exemplaire de sa notice sur les *Progrès futurs de la locomotive au point de vue de l'économie du combustible;* 2° un exemplaire de son Étude sur la mesure exacte des *hautes pressions et sur le frottement des cuirs emboutis des presses hydrauliques;* 3° un exemplaire de son Étude sur la *confection des outils d'ajustage;* 4° un exemplaire de sa communication intitulée :

On the consumption of fuel in locomotives (extract of Proceedings, mai 1884). *Institution of mechanical Engineers;* 5° un exemplaire de sa note intitulée *Standard Gange for High Pressures.*

De M. Vian, membre de la Société : 1° un exemplaire d'une note sur la culture de l'exploitation des *Orties textiles;* 2° un exemplaire d'une note sur les instructions pour la *Propagation de la ramie par semis, boutures et rhizomes;* 3° un exemplaire du *Manuel du producteur de ramie*, par Ussit de Eimar; 4° un exemplaire d'une note sur les *Orties textiles, ramie, ortie de Chine*, etc., par M. Favier, ancien élève de l'École polytechnique.

De M. Auguste Moreau un mémoire sur les *Chemins de fer d'intérêt local, avantages de la voie étroite.*

Les membres nouvellement admis sont :

MM.	Bertrand DE FONTVIOLANT	présenté par MM.	de Comberousse, Contamin, et Seyrig.
	CHAVANNE	—	Berruyer, Montigny, et Ravasse.
	ESCHGER	—	Biver, Charpentier et Ghesquiere.
	MARIÉ	—	Gottschalk, Martin et Tresca.
	TEIXEIRA	—	Carimantrand, Franck de Préaumont et Marché.

Comme membres associés,

MM.	MILINAIRE	présenté par MM.	Baril, Chassevent et Périssé.
	PERREUR	—	Carimantrand, Mallet et Marché.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE DÉCEMBRE 1884

Séance du 5 Décembre 1884.

PRÉSIDENCE DE M. LOUIS MARTIN.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a été pendant quelque temps éloigné de la Société par la maladie. Il est très heureux de se retrouver au milieu de ses collègues et pense qu'il aura la force suffisante pour présider la séance.

Le procès-verbal de la séance du 21 novembre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce ensuite le décès de M. Bridel, ancien élève de l'École centrale, qui a concouru à la construction de la partie métallique du palais de l'Exposition de 1855. C'était un grand travailleur, un homme très intelligent, qui s'est fait dans son pays, la Suisse, une très grande situation. Il est mort subitement, et un de nos collègues de Paris, M. Max Lyon, nous a adressé, à propos de ce triste événement, la lettre suivante :

« Monsieur le président,

« Notre collègue de la Société des Ingénieurs civils, M. Meyer, ingénieur en chef du chemin de fer de la Suisse-Occidentale et du Simplon, me communique la mort subite de M. Gustave Bridel, membre de notre Société depuis 1848.

« M. Bridel était l'ingénieur le plus apprécié en Suisse et l'un des plus capables ; d'une modestie sans égale et d'un commerce des plus agréables, il laisse d'unanimes regrets.

« M. Bridel a été l'ingénieur en chef de la construction du chemin de fer

du Saint-Gothard, où il a remplacé en 1878 M. Hellwag, qui avait lui-même remplacé M. Gerwig. C'est sous la direction de M. Bridel, qui avait acquis une grande expérience dans la construction des chemins de fer en pays de montagnes, et notamment au Jura bernois, que les travaux des lignes d'accès du chemin de fer du Saint-Gothard furent poussés avec l'activité et l'ordre justement appréciés par tous ceux qui ont eu l'occasion de les visiter. En dernier lieu, M. Bridel était devenu directeur de la Compagnie du Jura bernois.

« Veuillez agréer, monsieur le Président, etc.

« MAX LYON. »

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Soleillet, membre de la Société, a été nommé chevalier de la Légion d'honneur et M. Gailleux chevalier de l'ordre de Charles III d'Espagne.

Il donne ensuite communication d'une lettre de M. Maurice Lévy, membre de l'Institut, ainsi conçue :

« Monsieur le président,

« Je compte cette année, dans mes leçons au Collège de France, exposer les fondements et les plus récentes applications de la statique graphique.

« Je commencerai par les éléments, de façon à mettre mon cours facilement à la portée des ingénieurs qui ont reçu une éducation équivalente à celle qui se donne à l'École polytechnique ou à l'École centrale.

« Comme j'ai pris ce sujet à titre très exceptionnel, dans l'espérance d'être utile à nos jeunes ingénieurs et de contribuer à leur faciliter l'emploi de méthodes si commodes et aujourd'hui si répandues à l'étranger, je crois devoir vous signaler le fait, afin que vous puissiez, si vous le jugez convenable, le porter à la connaissance de ceux des ingénieurs de votre Société qu'il pourrait intéresser.

« L'affiche du Collège de France donnera d'ailleurs les jours et heures de mes leçons.

« Veuillez recevoir, monsieur le Président, l'assurance de ma haute considération.

« MAURICE LÉVY. »

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Ivan Flachat.

M. IVAN FLACHAT annonce que, l'année dernière, il a eu occasion de trouver dans ses archives, des études sur le chemin de fer de Rouen, par les Plateaux. Il en a fait hommage à la Société et a eu la satisfaction de voir que son exemple avait été suivi, et que son cadeau avait eu le bon effet d'en appeler d'autres. Cette année-ci, il apporte la carte du projet de chemin de fer de Saint-Étienne à la Loire, qui n'existe plus, car il a été remplacé par le chemin de fer de Saint-Étienne à Clermont.

Il y a une partie manuscrite qui donne le profil de cette ligne; le reste est lithographié. On voit sur le tracé, les points sur lesquels la traction se faisait par chevaux, et la section où elle se faisait par locomotive; il y avait enfin une troisième section où la traction se faisait par locomotive et par chevaux, et, tout au bout, une petite région où l'on reprenait les chevaux. La partie sur laquelle la traction se faisait par locomotive a 9 kilomètres de longueur; la partie où la locomotive marchait concurremment avec les chevaux, est de 4 kilomètres. Le profil accusait des pentes de $0^m,0158$ et de $0^m,0125$. En somme, ce document n'a pas grande valeur; mais il est rare, et on aurait de la peine à le retrouver aujourd'hui.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Flachat du don qu'il veut bien faire à la bibliothèque, et annonce ensuite que la Société a reçu de M. Léon Dru, un ouvrage très considérable, intitulé : *Rapport sur les eaux minérales du Caucase.* — C'est un ouvrage très étudié et très complet, qui sera très intéressant à consulter par les spécialistes.

M. AUGUSTE MOREAU a la parole pour sa communication sur les chemins de fer d'intérêt local : *les avantages de la voie étroite.* (Voir le mémoire, page 557.)

M. LE PRÉSIDENT demande si quelqu'un désire prendre la parole sur le même sujet.

M. EDMOND ROY fait remarquer que la question des chemins de fer à voie de 1 mètre a été présentée depuis longtemps à la Société et que la voie étroite y a souvent rencontré une très grande opposition. Dès 1877, il présentait un travail sur les chemins de fer d'intérêt local qui fut déposé à la bibliothèque de la Société, dans lequel toutes les considérations économiques présentées par M. Moreau sont déjà exposées en faveur des chemins à voie de 1 mètre, en se basant sur les exemples connus à cette époque en Suède, en Norwège, en Angleterre, en Belgique, il arrivait rigoureusement aux mêmes conclusions que M. Moreau, aussi bien pour les frais de construction que pour les dépenses d'exploitation.

Il n'a pas traité, dans ce travail, les questions de détail, pour celle des transbordements, il démontrait que, lorsqu'un chemin d'embranchement atteint une longueur de 15 à 20 kilomètres, on peut le construire à voie étroite; s'il ne doit pas dépasser 6 kilomètres, il n'y a pas avantage à adopter cette voie, parce que cela nécessite de nombreux transbordements à 0 fr. 20 la tonne. C'est ce qu'on appelait autrefois faire des *compléments de charge*, parce qu'on ne voulait pas prononcer le mot de *transbordement*, sachant combien il portait réellement préjudice à l'établissement des chemins de fer à voie étroite. M. ROY est partisan de la voie étroite, seulement quand la ligne dépasse 15 à 20 kilomètres.

Mais, il y a une question de principe que M. A. Moreau vient de poser, au point de vue des avantages de la voie étroite, et que M. Roy combattra : c'est la question de la flexibilité. M. Moreau dit : « Du moment que vous faites une voie plus étroite, vous pouvez employer des courbes de rayons plus petits. » C'est une erreur profonde. Il n'y a qu'une condition qui permette la diminution du rayon des courbes, c'est une réduction des dimensions du matériel. La résistance en courbe est en effet due à deux causes : d'abord l'angle de cisaillement et qui est produit par le boudin du bandage de la roue en contact avec le champignon du rail, et la différence des développements entre le rail intérieur et le rail extérieur. Si l'on construit deux voies de largeurs différentes et si l'on place des véhicules dans des conditions identiques de cisaillement et de résistance, il n'y a pas de raison pour que, dans la voie étroite, le véhicule passe plus facilement que dans la voie large ; si l'angle de cisaillement et la différence de développement des deux rails sont les mêmes, la résistance de passage du véhicule dans la courbe est la même.

M. Roy a fait la comparaison en considérant un chemin de fer à voie étroite avec des véhicules ayant un écartement d'essieux de 2^{m},20, et un chemin de fer à voie large, où cet écartement était de 3 mètres. Il a été poussé à faire ce travail, justement à cause d'une note qui a paru dans la *Revue générale des chemins de fer*, dans laquelle on dit que, eu égard à la voie étroite, un rayon de 400 mètres, dans une voie de 1 mètre, équivaut à un rayon de 600 mètres, en voie normale ; qu'un rayon de 300 mètres équivaut à un rayon de 500 mètres ; un rayon de 200 mètres à un de 400 mètres, et un rayon de 100 mètres à un rayon de 300 mètres. Ce n'est pas exact.

Voici les résultats de cette comparaison :

Voie de 1^{m},00. Ecartement des essieux 2^{m},20.			**Voie de 1^{m},500.** Ecartement des essieux 3^{m},00.		
Rayon des courbes.	Angle de cisaillement.	Différence de développement des rails par mètre courant.	Rayon des courbes.	Angle de cisaillement.	Différence de développement des rails par mètre courant.
400^{m}	9',438	0,0025	600^{m}	8',593	0,0025
....	....	....	500	10',296	0,0030
300	12',600	0,0033	400	12',872	0,00375
200	18',804	0,0050	300	17',373	0,0050
150	25',224	0,0067	200	25',800	0,0075
100	37',830	0,0100	150	34',392	0,0100

On voit, par ces comparaisons, que ce n'est qu'à la condition de réduire

l'écartement des essieux dans la même proportion que celui de la voie, que l'on arrive à avoir un même angle de cisaillement pour une réduction de rayon également proportionnelle à la réduction de la largeur de la voie; que la largeur de la voie n'a aucune influence sur l'angle de cisaillement lorsque les écartements d'essieux restent les mêmes et que, par suite, c'est à la réduction des dimensions du matériel roulant, et nullement à celle de la largeur de la voie qu'est due la flexibilité relative des chemins de fer à voie étroite.

En ce qui concerne la différence de développement entre les rails, on s'imagine que cette différence de développement constitue un inconvénient grave, on se trompe fort; M. Roy a fait à ce sujet des expériences concluantes il y a très longtemps.

Dès 1860, en effet, il fit construire un chemin de fer à voie normale en forme de ∞, dont les courbes avaient 80 mètres de rayon; il était établi à Vitry, sur le bord de la ligne de Paris à Orléans. Il fit en outre construire dix wagons à six roues, avec boîtes de son système aux essieux extrêmes, pour permettre la convergence dans les courbes. Mais il craignait beaucoup l'effet de la différence de développement entre le rail intérieur et le rail extérieur, au point de vue de l'accroissement de résistance de traction que cela pourrait produire.

Il fit donc construire cinq de ces wagons avec essieux rigides, et cinq avec essieux articulés, en deux parties reliées au milieu par un joint, pour que chacune des roues du même essieu pût suivre le développement de sa circonférence de contact. Il n'y avait là besoin ni de conicité, ni de différence de développement entre le rail intérieur, qui devenait quelquefois rail extérieur, et le rail extérieur qui devenait aussi à son tour rail intérieur. Eh bien, sur une voie de $1^m,50$, la différence de développement entre les rails est de $0^m,019$ par mètre courant. Avec le dynamomètre, en chargeant 12 tonnes, on a obtenu 1/2 kilogramme de différence de résistance entre les wagons à essieux rigides et les wagons à essieux brisés; par conséquent, comme la résistance pour les essieux rigides n'était que de 5^k60, on voit que cet accroissement de résistance n'était pas suffisant pour grever le matériel d'une disposition qui était dispendieuse pour la construction des essieux.

L'essai a été également fait sur des wagons à marchandises ordinaires de la Compagnie d'Orléans, dont l'écartement d'essieux était de $2^m,60$, ces wagons, dans ces courbes de 80 mètres de rayon, ont donné une résistance de 11^k75 par tonne, tandis que les autres ne donnaient que 5^k60. On voit l'énorme influence des essieux rigides constamment parallèles pour passer dans les courbes, et, le principe de la flexibilité de la voie, qu'on veut poser en attribuant la flexibilité au rétrécissement de la voie, n'est pas exact : la flexibilité n'est due qu'à la diminution de l'écartement des essieux.

M. Roy pose le principe que, pour les écartements d'essieux de $2^m,20$ à 3 mètres, même le rayon de 100 mètres, à voie étroite, ne présente pas plus de facilité de passage au véhicule, que le rayon de 150 mètres en voie

normale. Mais, du moment que l'on réduit l'écartement des essieux et qu'on réduit la longueur des longerons, alors, on a comme dans le matériel d'Hermes-Beaumont, des wagons qui ont des porte à faux considérables; si l'on prend un peu de vitesse, la stabilité n'est pas toujours complète.

Il a préconisé, il y a déjà sept ans, la voie de 1 mètre avec des arguments aussi péremptoires que ceux de M. Moreau; mais il ne voudrait pas qu'on lui donnât un mérite qu'elle n'a pas. Il faut toujours un matériel qui s'inscrive facilement dans les courbes, aussi bien pour la voie étroite que pour la voie large.

M. Auguste Moreau répond qu'il a dû passer sous silence dans cette rapide communication, bien des points qui sont traités avec détails dans le mémoire, et qui répondent aux objections de M. Roy, telle est, par exemple, la question du matériel articulé du matériel américain, etc.

Mais en outre il pense que M. Roy n'a pas bien entendu tout ce qu'il a dit, car il lui attribue des affirmations qui ne lui appartiennent pas. Ainsi M. Moreau n'a attribué à la largeur de la voie qu'une influence sur la différence des développements des deux files de rails dans une courbe de même rayon. Il sait parfaitement que cette largeur de la voie n'a rien à voir avec la résistance due à la longueur de l'empâtement où le rayon de la courbe joue le rôle prépondérant lorsque l'empâtement reste le même. Encore dans la pratique, la largeur de la voie a-t-elle tout de même une certaine importance puisqu'elle entraîne pour la stabilité des véhicules un écartement obligatoire d'essieux qui est au minimum deux fois la largeur de cette voie.

M. Roy réplique qu'il ne s'agit pas de poser des principes qui ne soient pas pratiques. Il prend ce qui s'est fait et dit : « 2^{m},20 d'écartement d'essieux, à voie étroite, comparés à 3 mètres, en voie normale, vous donnent un rayon de 100 mètres, en voie étroite, comme correspondant à un rayon de 150 mètres, en voie normale. »

M. Auguste Moreau estime que ces chiffres peuvent être exacts, mais demanderaient en tout état de cause qu'on les contrôlât avant de les admettre. Dans tous les cas, ils ne contredisent pas à première vue ce qu'il a avancé, sa comparaison de deux voies n'ayant pas porté exclusivement, comme tient à le faire M. Roy, sur la rigidité. M. Moreau répète ce qu'il a dit au début de sa communication : « La différence de développement entre les files extérieurs de rails pour la courbe de 300 mètres de rayon en voie normale est la même que pour 200 mètres en voie de 1 mètre. C'est environ 0,50 pour 100 mètres. » Il en est donc de même de la résistance due au glissement, que M. Moreau maintient fermement proportionnelle à la largeur de la voie. Puis, tenant compte de la réduction de l'empâtement sur la voie étroite, il a dit que le rayon de 300 mètres de la voie normale correspondait en réalité, non plus à 200, mais à 150 et même à 100 mètres de rayon en voie étroite, selon la dimension de cet empâtement. Voilà la vraie pratique connue de tous les hommes qui se sont occupés de la question.

M. Auguste Moreau tient enfin à ajouter encore un dernier mot : quand même on admettrait tous les systèmes articulés imaginables, celui de M. Roy ou un autre, pour rendre la voie large aussi flexible que la voie étroite, outre qu'on n'arriverait jamais aux mêmes économies de construction, on commettrait une erreur profonde au point de vue de l'exploitation. Un des avantages principaux de la voie étroite, consiste précisément dans l'usage de véhicules petits qui, lorsqu'ils sont rationnellement réduits, n'ont nullement besoin d'être munis d'aucun de ces systèmes plus ou moins délicats d'articulation. Mais vouloir adapter à une exploitation très faible ces immenses caisses de la voie normale qui, articulées ou non, entraînent avec elles un poids mort considérable, c'est commettre la plus grosse faute technique et économique qui se puisse voir en exploitation de chemins de fer.

M. le Président pense que la discussion pourra s'ouvrir plus utilement, lorsque le mémoire si complet qui doit lui servir de base aura été imprimé et distribué. Il remercie dans tous les cas M. Auguste Moreau de cette très intéressante communication qui a produit une impression profonde et laissera un souvenir durable dans l'esprit de tous les membres de la Société.

Vu l'heure avancée, M. le Président propose de remettre à une prochaine séance la communication de M. Gillot sur la cause et la nature de la force ; cette communication devant être un peu longue, il est préférable de ne pas la scinder.

MM. Bertrand de Fontviolant, Chavanne, Eschger, Marié et Teixeira ont été reçus membres sociétaires, et MM. Milinaire et Perreur membres associés.

La séance est levée à onze heures moins le quart.

Séance du 19 Décembre 1884.

Présidence de M. Louis Martin.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. le Président annonce le décès de MM. Mors et Ogier.

Conformément à l'article 17 des Statuts, il est donné communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 21 décembre 1883, de 2037
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de. 98

	2135
A déduire, par suite de décès, démissions et radiations pendant l'année.	67
Nombre total des Sociétaires au 19 décembre 1884. . .	2068

Les recettes effectuées pendant l'exercice de 1884 se sont élevées à :

1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, amendes, vente de bulletins, annonces).		77,712 84	82,585 84
2° Pour le fonds social inaliénable, 7 exonérations.	4,200 »	4,873 »	
3° 9 dons volontaires.	673 »		
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations. . .			18,064 »
Total de ce qui était dû à la Société. . . .			100,649 84

Au 21 décembre 1883, le solde en caisse était de.	13,518 31	96,104 15
Les recettes effectuées pendant l'exercice 1884 se sont élevées à.	82,585 84	

Les sorties de caisse de l'exercice se sont élevées à :

1° Pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, contributions, assurances, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.). .	80,232 60	85,732 60
2° Emploi du fonds du capital inaliénable : remboursement de 11 obligations.	5,500 »	
Il reste en caisse à ce jour..		10,371 55

D'après le détail de la situation présentée par le Trésorier, le fonds courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante, à la date du 19 décembre 1884.

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces.	5,607 28
2° De 234 obligations du Midi, ayant coûté.	82,362 34
Total du fonds courant.	87,969 62

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° En espèces.	5,764 27	17,156
2° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo.	6,000 »	
3° 15 obligations au porteur, ayant coûté	5,392 20	
4° Un hôtel dont la construction a coûté.	278,706 90	263,706 90
sur lequel il reste dû.	15,000 »	
Total de l'avoir de la Société.		368,832 99

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. le Président remercie M. Loustau, de son zèle et de son dévouement aux intérêts de la Société.

ÉTAT COMPARATIF DES EXERCICES DE 1877 A 1884.

INDICATIONS.	21 décembre 1877.	20 décembre 1878.	19 décembre 1879.	17 décembre 1880.	16 décembre 1881.	15 décembre 1882.	21 décembre 1883.	19 décembre 1884.
Nombre de Membres....	1420	1526	1577	1800	1922	1984	2037	2068
Membres admis pendant l'Exercice..........	109	150	98	264	180	110	132	98
Membres décédés......	21	18	17	21	24	23	36	34
Membres démissionnaires	3	13	14	7	17	8	17	11
Membres rayés.......	11	13	16	13	17	17	26	22
Membres exemptés.....	9	11	5	3	25	6	10	11
Exonérations de 600 fr.	11	13	9	23	16	7	11	7
Legs...............	»	»	Gil Claudie 5.000f	»	»	2 legs à recevoir	Le Roy 5.000f 00	1 legs à recevoir
Dons volontaires.......	»	»	72f	3.658f 75	6.509f 25	3.128f 50	1.368 25	673
Encaissements de l'Exercice..............	55.316f 32	63.612f 65	68.346f 74	81.454 84	89.090f 33	77.373 68	88.675 93	82.585f 84
Achat d'Obligations du Midi..............	(16) 5.313 60	(29) 10.605 25	(25) 9.552 54	(14) 5.348 50	(26) 10.323 95	(10) 3 730 00	(48) 17.429 65	»
Remboursement d'Obligations sociales......	(16) 8.000 00	(14) 7.000 00	(9) 4.500 00	(20) 10.000 00	(33) 16.500 00	(33) 16.500 00	(14) 7.000 00	(11) 5.500f 00
Sommes dues..........	18.338 00	16.577 00	11.847 00	13.521 00	12.576 00	15.893 00	17.217 00	18.064 00
Sommes restant en Caisse	12.362 09	18.529 04	19.400 26	21.142 63	17.699 89	15.279 30	13.518 31	10.371 55
Dépenses de l'Exercice..	48.355 25	45.131 10	52.371 27	57.570 43	65.709 12	59.564 27	66.007 27	80.232 60

Il est ensuite procédé au vote pour l'élection des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1885.

Les élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président.

M. De Comberousse (Charles).

Vice-Présidents :

MM. Hersent (Hildevert).
Périssé (Sylvain).
Brüll (Achille).
Seyrig (Théophile).

Secrétaires :

MM. Clerc (Jules-Auguste).
Vallot (Henri).
Giraud (Jules-Joseph).
Moreau (Auguste).

Trésorier : M. Loustau (Gustave).

COMITÉ.

MM. Rey (Louis).
Mallet (Anatole).
Contamin (Victor).
Boistel (Louis).
Noblot (Adolphe).
Degousée (Edmond).
Carimantrand (Jules).
Morandiere (Jules).
Herscher (Charles).
Desgrange (Hubert).

MM. Lavezzari (Émile).
Péligot (Henri).
Simon (Édouard).
Reymond (Francisque).
Eiffel (Gustave).
Fontaine (H.).
Level (Émile).
Cotard (Charles).
Regnard (Louis).
Flachat (Ivan).

NOTE

SUR LE

CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN

DANS PARIS

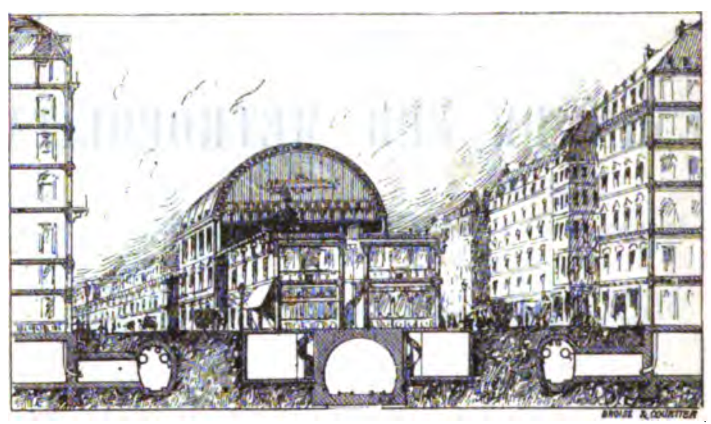
PAR M. **HAAG**, INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

J'ai eu l'honneur de présenter l'an dernier, à la Société des Ingénieurs civils, un avant-projet de chemin de fer métropolitain dans Paris, que MM. les membres de la Société ont bien voulu examiner avec intérêt. Depuis lors, avec l'aide et le concours de quelques collaborateurs dévoués, j'ai poursuivi sans relâche mes études, et je suis à même de fournir aujourd'hui, au lieu d'une simple ébauche, un travail complet et qui peut être sérieusement discuté.

J'insisterai avant tout sur le caractère distinctif de ce projet, qui consiste, non pas dans un parti pris de se tenir partout et quand même au-dessus du sol, mais bien dans cette idée fondamentale qu'il faut combiner la création du Métropolitain avec la liaison directe des grandes gares, et que, pour réaliser pratiquement et économiquement cette liaison, il faut l'associer avec le percement d'importantes et utiles rues nouvelles.

Je ne m'arrêterai pas à la description générale du tracé, qui est resté dans son ensemble entièrement conforme à l'avant-projet primitif. D'ailleurs, les plans et profils joints à ce mémoire (Pl. 87) sont plus clairs qu'aucune description verbale ne saurait l'être.

Je me bornerai à signaler les principales modifications qu'une étude plus approfondie m'a fait introduire dans la solution première.



Coupe du viaduc métropolitain et des deux rues latérales.

D'abord, la rue Montmartre et la rue du Faubourg-Montmartre ont été abandonnées, parce qu'il est plus économique de percer une rue nouvelle que d'élargir une rue existante. Le tracé nouveau, presque parallèle à l'ancien, sans coûter aussi cher que lui, réalise au point de vue de la circulation les mêmes avantages.

En second lieu, le raccordement avec la ligne du Nord, qui s'effectuait à la plaine Saint-Denis au moyen d'un tunnel sous Montmartre, se fait maintenant d'une façon plus directe par un tracé nouveau passant sous la gare du Nord elle-même, où une station souterraine doit être établie. Un tunnel de 1 kilomètre de longueur à peine, construit à grande profondeur, de manière à éviter les égouts, les conduites d'eau et de gaz, relie cette gare souterraine à la grande artère Lyon-Saint-Lazare. D'autre part, la gare souterraine du Nord n'est pas pour le Métropolitain une station terminus : ses voies peuvent être conduites sous les voies mêmes du Nord jusqu'à la plaine Saint-Denis où elles se dégagent latéralement, pour se raccorder ensuite comme dans l'étude primitive. L'avantage de cette nouvelle solution consiste en ce que, les trains du Métropolitain passant à la gare du Nord elle-même, le service de cette gare, au point de vue de l'exploitation, n'aurait pas besoin d'être remanié.

Enfin, pour des raisons d'exploitation analogues, le raccordement avec la ligne de Vincennes se trouve reporté en avant de la gare de

Lyon, afin de débarrasser ainsi cette gare, déjà très chargée, d'une importante portion du transit. Le raccordement se fait par un viaduc métallique à deux voies installé sur le côté du boulevard Diderot. C'est du reste la solution que les ingénieurs de la ligne de Vincennes ont indiquée eux-mêmes aux auteurs du projet souterrain.

J'aborde actuellement la question des dépenses.

Cette question, qui est capitale évidemment, a été l'objet de nos plus sérieuses études. Nous avons recherché la vérité sans vouloir nous illusionner en rien, sans vouloir en rien illusionner les autres.

Le travail a été fait de la façon la plus consciencieuse par un des hommes les plus incontestablement compétents en matière d'expropriations parisiennes, M. de Royou, architecte et commissaire voyer principal de la ville de Paris. Et pour donner une idée du soin avec lequel cette étude a été faite, j'insisterai sur quelques points de détail.

On s'est servi de grands plans au $\frac{1}{500}$. Ces plans, établis d'après les renseignements officiels fournis au bureau des agents voyers de la Ville, sont à une assez grande échelle pour permettre de déterminer exactement l'emprise faite par l'expropriation sur chaque propriété atteinte. Dans chaque îlot de maisons, M. de Royou a évalué le prix des immeubles, déterminé d'après la nature des commerces, l'importance des indemnités locatives, majoré ces chiffres de tant pour cent en raison des exagérations habituelles du jury, et c'est en opérant ainsi, maison par maison pour ainsi dire, et en exagérant toujours les résultats de la façon la plus pessimiste, qu'il est arrivé finalement aux évaluations d'ensemble dont je vais donner les chiffres.

Je dis que ces évaluations ont été faites avec un pessimisme voulu, et pour le prouver, il me suffira d'extraire de cet amas de documents, beaucoup trop volumineux pour le produire ici, quelques moyennes particulièrement significatives.

D'après les calculs de M. de Royou, le prix moyen du mètre exproprié et utilisé pour la rue nouvelle reviendrait à :

3,614 francs pour la première section (de la gare Saint-Lazare au Faubourg-Montmartre) ;

4,384 — pour la seconde (du Faubourg-Montmartre au boulevard Sébastopol) ;

1,516 francs enfin, pour la troisième (du boulevard Sébastopol à la gare de Lyon).

Ce sont là assurément des évaluations qui ne peuvent pas être taxées d'optimisme, surtout lorsqu'on les met en regard du tableau suivant :

Terrains expropriés.

Rue Vivienne (agrandissement de la Bibliothèque nationale)	le mètre	2,500	francs.
Rue Montmartre, 31 (rue Étienne Marcel)	—	1,698	—

(Voir la séance des Ingénieurs civils du 18 mai 1883.)

Terrains expropriés pour mise à l'alignement des parcelles[1].

Rue de Grammont, 25, et boulevard des Italiens	le mètre	1,500	francs.
Rue Saint-Honoré (coin de la rue du Louvre)	—	1,300	—
Rue de Provence, 9	—	700	—
Rue Saint-Lazare, 20	—	550	—
Rue Rochechouart, 46	—	350	—

(Voir le journal *le Bâtiment*, 24 août 1884.)

J'ajouterai que les expropriations ont été calculées en ajoutant à la surface de la voie à ouvrir deux zones latérales dont la largeur variable avec la situation et la dimension des immeubles atteints n'est pas inférieure à 15 mètres en moyenne. Et sur ces zones latérales, la plus-value à espérer pour la revente des terrains qui doivent se trouver en bordure sur la rue nouvelle a été bien modestement escomptée, puisqu'on ne la fait porter que sur la valeur réelle du terrain nu.

Ainsi, par exemple, pour un terrain exproprié à raison de 4,000 fr. du mètre, la valeur du terrain nu n'étant comptée que pour 1,200 fr.,

1. Nous avons classé à dessein dans une catégorie spéciale les terrains expropriés pour mise à l'alignement des parcelles, car nous savons parfaitement que les expropriations de cette nature sont toujours moins coûteuses que les expropriations ordinaires : elles n'en constituent pas moins un renseignement intéressant, et l'on voit qu'il y a un abîme entre les moyennes qu'elles fournissent et celles que nous avons admises pour notre étude. Quant aux prix de vente à l'amiable, ils sont encore moins élevés ; nous croyons nous rappeler notamment certaines ventes ayant donné les chiffres de 300 francs du mètre rue Saint-Sauveur, et de 6 ou 700 francs rue Lepelletier, mais n'ayant pas les renseignements exacts sous la main nous ne donnons ces derniers chiffres que sous réserve.

on suppose une plus-value de 300 fr. seulement, et le prix de revente est ainsi fixé à 1,500 fr., ce qui constitue en définitive une perte de 2,500 fr. par mètre.

Les choses, fort heureusement, se passent rarement ainsi, et souvent la plus-value de revente est très considérable. Pour n'en citer qu'un exemple, nous rappellerons que dans l'opération de l'avenue de l'Opéra, bien que les prix atteints aient été relativement peu élevés (1,200 à 1,500 francs le mètre), la revente des terrains a suffi pour couvrir à peu près la moitié du prix de l'entreprise. Et l'on peut espérer qu'il en sera de même, toutes les fois qu'on opérera sur des quartiers qui, si je puis m'exprimer ainsi, n'ont pas encore été *défrichés*, je veux dire des quartiers où, par suite de manque d'accès, la valeur actuelle du sol n'est pas en rapport avec celle des immeubles qui le couvrent.

Il résulte de là que je ne m'avançais pas trop en affirmant que les estimations de M. de Royou avaient été faites de la façon la plus pessimiste. Aussi le chiffre total de 493,800,000 francs auquel elles ont conduit doit-il être considéré comme une évaluation très élevée de la dépense.

A ce chiffre il convient d'ajouter :

16,500,000 francs pour la construction du viaduc ;

25,000,000 — pour le raccordement souterrain avec le Nord ;

4,500,000 — enfin pour la mise en état de viabilité des rues nouvelles [1], ce qui donne un total général de 540 millions, comme maximum largement calculé de toutes les dépenses.

Cherchons actuellement à nous rendre compte de ce que pourrait rapporter l'œuvre réalisée au prix de ces dépenses. Cette œuvre comprend trois choses distinctes : *une rue*, *des boutiques*, *un chemin de fer*.

La *rue* n'est pas directement productive : une rue ne rapporte rien, puisqu'il n'y a pas, chez nous du moins, de *rues à péage*... Est-ce à dire qu'une magnifique voie nouvelle, comme celle de notre projet, soit une œuvre inutile ? Voyez la foule des piétons et des voitures qui

1. Nous sommes prêts à fournir au sujet de ces derniers chiffres tous les renseignements qu'on pourra désirer, mais nous ne croyons pas utile d'en donner ici la justification détaillée, car leur importance disparaît à côté de celle des prix d'expropriation ; bornons-nous à dire que pour ces chiffres également, les évaluations ont été faites de la façon la plus large.

emplit l'avenue de l'Opéra et le boulevard Saint-Germain, par exemple, et essayez de contester l'utilité de ces nouvelles voies.

Mais il y a plus : ce n'est pas seulement par les services qu'elles rendent à la circulation que de pareilles percées sont essentiellement utiles, ce n'est pas seulement par l'assainissement qu'elles apportent aux quartiers traversés — assainissement auquel nous devons peut-être d'avoir échappé cette année à une terrible épidémie — c'est encore par la plus-value immobilière qu'elles réalisent et dont la Ville est appelée indirectement à profiter, c'est enfin par l'impulsion qu'elles donnent à l'industrie du bâtiment, et qui réagit, comme on sait, si puissamment sur toutes les autres industries.

Au fond, du reste, en dépit des protestations de quelques esprits étroits pour qui l'argent utilement dépensé est de l'argent perdu, l'administration municipale se rend si bien compte de l'utilité des grands travaux de voirie, que maintenant encore ils figurent chaque année aux budgets de ses dépenses pour des sommes considérables. Hier, c'était la rue Étienne-Marcel, aujourd'hui, c'est la rue des Filles-Dieu, demain ce sera la rue du Louvre.

Et si la Ville reconnaît l'utilité de ces percées nouvelles qui lui coûtent de nombreux millions, comment pourrait-elle contester celle d'une rue dont l'effet serait de débarrasser la rue Montmartre, la rue du Faubourg-Montmartre, les abords des Halles, ceux de la tour Saint-Jacques et ceux de la Bastille d'une circulation évidemment excessive.

Il y a, je ne saurais trop insister là-dessus, une situation qui, pour la rue Montmartre surtout, est intolérable et à laquelle l'administration municipale sera forcée tôt ou tard de porter remède. C'est à elle de voir si son intérêt n'est pas de profiter d'une combinaison qui, comme nous allons le faire voir, lui permettrait d'exécuter, à peu près à moitié prix, cette œuvre d'une nécessité incontestable.

Si la rue ne rapporte rien, directement du moins, il n'en est pas de même des *boutiques:* elles peuvent rapporter et même rapporter beaucoup.

Les dessins exposés à la séance du 3 août par M. Monduit, architecte, qui a bien voulu collaborer à notre projet, font voir tout le parti qu'on peut tirer de ces locaux, tant au point de vue de l'aspect extérieur que pour les aménagements intérieurs des magasins. Rien n'empêche d'éviter le reproche de monotonie en variant suivant les quar-

tiers l'aspect des façades et en les appropriant aux caractères des différents commerces.

Enfin, en raison même de la situation des quartiers traversés et de la cherté des expropriations, on nous accordera bien que les boutiques doivent y avoir une valeur considérable : c'est une compensation bien légitime à la grosse dépense d'établissement.

En tenant compte de tous ces éléments, nous sommes arrivés pour le revenu des boutiques à un total probable variant entre 5 et 6 millions.

J'arrive maintenant au *chemin de fer*, et je dois constater tout d'abord que la ligne créée serait d'une exploitation très facile, par cela même que les déclivités y sont faibles et les courbes de grands rayons[1]. D'autre part, elle se prête, par ses multiples liaisons avec la Ceinture, à l'exploitation par *circuits* qui est, comme on sait, la condition la plus commode pour les lignes à grande fréquentation.

Au point de vue des avantages réalisés, je citerai :

1° La liaison des grandes lignes entre elles à travers le centre de Paris, c'est-à-dire la banlieue et les faubourgs transportés directement sans changement de wagon au cœur de la ville ;

2° La solution rationnelle de la question des logements ouvriers, puisqu'en rapprochant du centre de Paris les quartiers excentriques, il deviendrait possible d'y construire économiquement des maisons ouvrières ;

3° D'immenses et évidents avantages stratégiques, tant pour la mobilisation des troupes que pour la défense du camp retranché de Paris.

Il faut mentionner encore :

La possibilité pour les trains de grandes lignes d'amener leurs voyageurs au centre de Paris et de les y prendre ;

La possibité de desservir les Halles devant lesquelles on passe ;

La possibilité de se rattacher par un embranchement très court au nouvel hôtel des Postes dont on pourrait, partiellement du moins, faire le service.

1. Sur l'artère centrale, la pente maximum est $0^{m},012$, le rayon minimum 300 mètres (sauf à l'entrée des gares où des rayons de 250 mètres ont été admis). Il nous a paru inutile de nous tenir en dessous de ces limites, mais on pourrait encore sans grande difficulté adoucir les déclivités et agrandir les rayons des courbes, si l'on y trouvait un sérieux avantage.

Je réunis à dessein ces derniers avantages dans un même groupe, car on a souvent contesté la possibilité de leur réalisation. A ce sujet, je prendrai la liberté de citer un fait personnel. Il y a une douzaine d'années, chargé à l'étranger d'une mission technique, je fus frappé de voir des capitales de deuxième ordre, comme la Haye et Copenhague, dotées de nombreux tramways, alors qu'à Paris ce mode de locomotion nous était totalement inconnu. A mon retour, j'en parlai à diverses personnes compétentes : « des tramways dans Paris, y songez-vous, me répondit-on, avec notre mouvement de voitures, c'est tout à fait impossible ! » On sait ce qu'il en a été de cette soi-disant impossibilité. Je pense qu'il en sera de même sans doute pour la question qui nous occupe, et que ce qui existe à Berlin depuis deux ans pourra vraisemblablement être tôt ou tard réalisé chez nous.

Parmi les nombreux avantages que je viens de signaler, il y en a qui ne se traduisent pas par des recettes : les avantages stratégiques, par exemple, et ceux qui se rapportent à la question des habitations ouvrières. Pour ne considérer que les recettes proprement dites, j'évaluerai à 4 ou 5 millions le revenu probable du chemin de fer et voici l'un des calculs qu'on peut faire pour justifier ce chiffre.

La statistique fournit les renseignements suivants :

		Annuellement.
Voyageurs arrivant à Paris et en partant par les gares. .	50	millions.
— transportés par les omnibus et les tramways (1881)	180	—
— par les omnibus de Madeleine-Bastille. . . .	15	—
— par les tramways de Bastille-Saint-Ouen . .	9	—
— par les bateaux-mouches	12	—

En présence de ces chiffres, et en considérant qu'à Paris la *masse transportable* est en quelque sorte inépuisable et que le nombre des voyageurs croît en raison des facilités qu'on leur offre, il est impossible de regarder comme exagérée l'hypothèse de 30 millions de voyageurs pour la grande ligne centrale traversant Paris. A raison de 0 fr. 20 par voyageur, cela représente 6 millions de recette brute.

D'autre part, en admettant une circulation moyenne de 1 train par 5 minutes dans chaque sens, et un service journalier de 20 heures, on arrive à un chiffre de 480 trains, soit pour un réseau de 7 kilomètres, à 3,360 trains-kilomètres par jour.

En comptant à 2 fr. 50 le train-kilomètre, ce qui est un chiffre généralement admis, la dépense journalière d'exploitation s'élèverait à 8,400 francs, ce qui équivaut à une dépense annuelle de 3 millions en nombres ronds ; le bénéfice net serait donc de 3 millions.

A ce chiffre il convient d'ajouter les revenus que pourraient procurer le transport des voyageurs de grandes lignes, le service des Halles et celui des Postes, ainsi que l'enlèvement des débris des Halles, qui coûte à la Ville un forfait annuel de 248,000 francs[1].

En résumé, en ajoutant au revenu des boutiques celui du chemin de fer, on peut compter sur un produit annuel qui ne serait pas inférieur à 10 millions, on voit que, comme nous l'avions annoncé, ce revenu payerait au moins les deux cinquièmes et probablement la moitié des frais de percement de la nouvelle rue.

Tel est, dans ses lignes générales, le projet que j'ai l'honneur de soumettre à la Société des Ingénieurs civils. J'ajouterai quelques brèves observations au sujet des principales objections qu'on y a faites.

On a accusé ce projet de ne pas se prêter à des extensions ultérieures : il s'y prête au contraire mieux que tout autre, par ce fait même qu'il se trouve déjà relié directement et commodément à toutes les lignes existantes. Dans mon premier avant-projet, j'avais indiqué la possibilité éventuelle de desservir la rive gauche au moyen d'une ligne circulaire à laquelle j'avais donné le nom de *petite ceinture*. Sur la carte jointe à ce mémoire, j'ai complété cette première indication par un second circuit desservant les quartiers du nord-est (Belleville et la Villette). Ces lignes, construites à deux voies bien entendu, et souterraines dans les régions élevées, seraient aux lignes maîtresses du premier réseau ce que les chemins de fer d'intérêt local sont aux grandes lignes d'intérêt général, et elles pourraient être construites dans des conditions relativement très économiques.

On a dit que la création de ce chemin de fer aérien nuirait considérablement à l'aspect artistique de Paris : l'objection tombe mal pour un tracé qui ne touche à aucun monument, ne traverse aucun beau

1. On remarquera sur la coupe transversale du viaduc, que nous avons ménagé entre les caves des boutiques, une sorte de boyau central ayant la forme et les dimensions d'un égout collecteur ; dans ce conduit souterrain pourraient circuler des wagonnets. Ces trains de wagonnets pourraient servir à différents transports, et ils pourraient être notamment utilisés pour l'enlèvement des débris des Halles qu'ils conduiraient soit à la plaine Saint-Ouen, soit au canal, où, le long du quai Bourdon, des chalands viendraient en effectuer le chargement.

quartier, et qui, créant une rue spéciale sur tout son parcours, ne serait pour ainsi dire visible que de cette rue nouvelle. D'ailleurs, les dessins exposés par M. Monduit montrent qu'on peut donner au viaduc et à ses magasins un aspect fort satisfaisant.

On a prétendu que les maisons en bordure seraient inhabitables : mais il suffit de citer les nombreux exemples de la rue de Rome, de la place de l'Europe, du boulevard Pereire, du boulevard Beauséjour, de la rue de Lyon, etc., pour réfuter cette objection.

On a affirmé que les magasins situés sous le viaduc se loueraient mal. Sur ce point je fais appel au témoignage de l'honorable Président de la Société : mieux que tout autre, il peut renseigner sur cette question, et les renseignements qu'il a eu l'obligeance de me fournir prouvent que les boutiques du viaduc de Vincennes, malgré des aménagements défectueux, malgré l'excentricité relative du quartier, se louent très facilement et à des prix qui représenteraient pour une double façade plus de 200,000 francs par kilomètre [1].

Enfin, j'arrive à l'objection capitale, celle de la dépense. On me dit, on me répète : « Votre solution est très séduisante, mais elle coûte trop cher, elle coûte surtout trop cher, parce que nous avons le moyen d'obtenir *pour rien le même résultat.* »

Il s'agit, bien entendu, du projet souterrain, de ce projet souterrain, si antipathique à la population parisienne, mais qu'on espère lui faire accepter quand même, et qui, au dire de ceux qui le prônent, serait si merveilleusement économique, qu'il pourrait, tout en se passant de subvention, enrichir encore ses actionnaires.

Il est vraiment regrettable que les promoteurs de cette entreprise ne soient pas venus eux-mêmes nous en expliquer l'économie. Il serait intéressant d'apprendre par eux et d'une façon en quelque sorte officielle, quelles dispositions ils ont adoptées pour l'aménagement des spacieuses gares souterraines destinées à recevoir l'énorme mouvement de voyageurs sur lequel ils comptent, quels procédés ils emploieront pour exécuter ce tunnel dans des rues aussi fréquentées que celles qu'ils suivent, sans en paralyser la circulation, etc., etc.

Malheureusement, si l'on a été prodigue de belles promesses, on a été, jusqu'à présent, extrêment sobre d'explications. Dans cette disette

1. Voir à ce sujet la communication que j'ai faite à la Société à la séance du 18 mai 1883. Je reçois d'ailleurs des renseignements tout récents d'après lesquels la location des boutiques du métropolitain de Berlin fournirait des résultats inespérés.

de renseignements, on me saura gré sans doute de fournir quelques indications sur le projet souterrain dans sa plus récente manière[1].

Le profil en long de la grande ligne, le seul, croyons-nous, qui ait été sérieusement relevé, présente des déclivités de 0,020 sur 2^{k},275, combinées avec des courbes de 150 et 200 mètres de rayon. Dans ces conditions, la ligne ne pourrait évidemment être exploitée qu'avec des machines spéciales, et l'on nous affirme effectivement que, renonçant aux systèmes Mékarski et Franck, on compte employer un moteur électrique qui doit être inventé d'ici à quelques mois !

Mais je n'insisterai pas sur les difficultés techniques ; on les a cent fois discutées, et d'ailleurs aujourd'hui on vient à bout de tout — avec beaucoup d'argent. — Je suppose toutes ces difficultés victorieusement résolues, je suppose le public parisien acclimaté à cette vie souterraine pour laquelle il semble si peu fait, et je me demande avec quelles ressources l'entreprise pourra vivre.

Nous pouvons essayer d'en établir le bilan.

On a dit, en citant des chiffres empruntés au Métropolitain de Londres : le Métropolitain de Londres a coûté une dizaine de millions par kilomètre ; à Paris, nous n'aurons pas d'expropriations, il en coûtera 4, peut-être 5, tout au plus 6. Or, voici la vérité sur Londres : le Métropolitain qui s'achève en ce moment entre Aldgate et Mansion-house coûte 50 millions par kilomètre[2] ! Et veut-on savoir d'où vient cette colossale différence : elle résulte simplement de ce que, sur les 33^{k},8 livrés à l'exploitation jusqu'en 1882, les trois quarts, pour ne pas dire plus, ont été construits dans des banlieues où la vie ne s'est développée précisément que par suite de la création du chemin de fer. C'est donc une moyenne absolument trompeuse que celle qu'on a invoquée.

En se reportant au rapport précité de M. Huet, on constate d'ailleurs que les difficultés qu'on a rencontrées pour l'achèvement de l'*Inner-Circle* sont absolument de même nature que celles qu'on rencontrerait pour la création du souterrain dans le cœur de Paris. Or, pour ne m'en tenir qu'à la ligne principale, la seule dont nous ayons un profil, sur ses 16 kilomètres (exactement 15^{k},970), il y en a bien 8 qui sont

1. Les plans et profils du tracé souterrain que j'avais présentés à la séance des Ingénieurs civils, ont été reproduits depuis dans *le Génie civil*, numéro du 18 octobre dernier.

2. Exactement 48 millions, d'après le remarquable rapport de M. Huet, sous-directeur des travaux de Paris, publié au *Bulletin municipal* du 11 octobre 1883 ; mais des renseignements personnels qui me sont envoyés de Londres m'apprennent que les chiffres prévus seraient encore dépassés.

dans le centre même de la ville. Appliquez à ces 8 kilomètres le prix de Londres et vous arrivez au respectable chiffre de 400 millions, sans tenir compte des 8 autres kilomètres qui ne se feront pas absolument pour rien.

Mais ce n'est pas tout. On a dit qu'on n'aurait aucune expropriation à faire, et le percement de la rue Réaumur auquel on est revenu, auquel on a été obligé de revenir dans le tracé actuel et pour lequel le conseil municipal a explicitement déclaré qu'*aucune subvention ne serait accordée*[1] est estimé par M. de Royou à la somme de 73 millions 500,000 francs.

Voilà des chiffres qui devraient donner à réfléchir aux partisans convaincus de la solution souterraine.

Passons maintenant au chapitre des recettes.

La ligne souterraine par sa nature même se trouve évidemment réduite au mouvement des voyageurs parisiens. Or, il n'est guère admissible que, sur un chemin de fer en tunnel, d'exploitation difficile, sans raccordement direct avec les grandes lignes, ce mouvement puisse être supérieur à celui qu'on peut espérer pour notre projet. Ce serait donc un bénéfice net de 3 millions tout au plus sur lequel on pourrait compter, pas même de quoi payer les frais de la rue Réaumur[2] !

En résumé : dépenses probables, 4 à 500 millions ; recette probable, 3 millions au maximum.

C'est à ce résultat final que se réduit cette entreprise soi-disant assez avantageuse pour que les demandeurs s'en disputent la concession !

Je ne parlerai pas des résultats atteints au prix de ces énormes sacrifices.

1. Extrait des registres des délibérations de la séance du 4 juin 1883. — Cahier des charges annexé, page 4 :
Aucune subvention ne sera accordée pour le percement de la rue Réaumur.

2. Qu'il me soit permis de réfuter à ce sujet une argumentation spécieuse qui a été trop souvent reproduite au sujet du Métropolitain, et d'après laquelle un chemin de fer rendrait d'autant plus de services et transporterait d'autant plus de voyageurs qu'il aurait un plus grand développement kilométrique. Par exemple, on raisonne de la façon suivante : le projet aérien a 5 kilomètres, le projet souterrain en a 20, donc il transportera quatre fois plus de voyageurs, rendra quatre fois plus de services et donnera une recette quadruple. Il n'est pas difficile de faire ressortir la fausseté de cet argument. Qu'on prenne par exemple la ligne souterraine entre la porte Maillot et Reuilly, avec son développement de 10 kilomètres : peut-on sérieusement soutenir qu'elle transportera plus de voyageurs et qu'elle rendra plus de services que la ligne de notre projet qui va du même point de départ au même point d'arrivée, avec cette seule différence qu'elle fait moins de détours et qu'elle emprunte la ligne de ceinture entre la porte Maillot et la gare Saint-Lazare?

Qu'aura-t-on fait au moyen de la ligne souterraine telle qu'on la projette : un véritable tramway allant sous terre au bois de Boulogne.

Qu'aura-t-on créé au point de vue stratégique ? Rien ; et le ministère de la guerre l'a si bien compris que, consulté sur la question, il s'est borné à dire que la ligne projetée pouvait être autorisée, *à la condition que des mines convenablement disposées puissent en assurer la destruction à la première réquisition de l'autorité militaire,* en constatant d'ailleurs son inutilité absolue au point de vue stratégique.

Qu'aura-t-on fait pour les logements ouvriers? rien encore, car ce n'est certes pas dans la banlieue aristocratique ou bourgeoise de Neuilly ou de Suresnes que des maisons ouvrières pourront se construire dans des conditions économiques.

Le principal résultat atteint sera de procurer une plus-value immobilière aux propriétés riveraines de la Seine entre Puteaux et Saint-Cloud, mais c'est là, on conviendra, un résultat auquel l'intérêt général et celui de la population parisienne semblent parfaitement étrangers.

Et malgré tout, je sais quels appuis cette solution souterraine rencontre, je sais contre quels mauvais vouloirs déclarés, contre quels parti pris absolus j'ai à lutter, je sais à quels ménagements la presse elle-même est tenue vis-à-vis d'un projet dont le bon sens ferait aisément justice, si l'on cherchait la lumière au lieu de la fuir. Mais il faut espérer qu'un jour ou l'autre la logique finira par triompher, et je dois le dire en terminant, l'accueil sympathique que j'ai reçu, lorsque pour la première fois je suis venu exposer à la Société mes idées, m'a été d'un puissant encouragement dans la campagne que j'ai entreprise.

A l'appui des prix d'estimation des expropriations à faire pour l'exécution de mon projet, je crois utile de donner copie d'une lettre de M. de Royou, architecte, commissaire voyer principal de la ville de Paris, adressée à M. le Président de la Société des Ingénieurs civils :

« Monsieur le Président,

« En vous priant d'agréer tous mes regrets de n'avoir pu assister à la séance du 3 octobre de la Société des Ingénieurs civils, permettez-moi de confirmer la déclaration de M. Haag, relative aux estimations

qu'il m'avait chargé de faire sur les dépenses d'expropriation nécessaires pour l'exécution de son projet du chemin de fer métropolitain, et de résumer succinctement l'étude que j'ai dû faire, pour obtenir dans mon travail d'estimation des résultats approchant le plus possible de la vérité, ne pouvant donner aucun mécompte dans les calculs de dépense et mettant l'entreprise à l'abri de toute éventualité.

« L'exécution du projet comprenant un viaduc de 12 mètres de largeur et, en outre, deux rues latérales de 15 mètres, il s'agissait de livrer à l'opération une zone de terrain de 42 mètres, sans parler des emplacements des gares qui ont été prévus pour une largeur plus grande; mais, attendu que naturellement le tracé du projet ne peut correspondre aux limites des propriétés atteintes, j'ai dû comprendre, dans l'évaluation de la surface à exproprier, deux zones de 15 mètres, profondeur moyenne qui se rapprochent généralement des limites des immeubles traversés par les voies projetées, la superficie de ces deux zones, après expropriation et démolition des bâtiments, devant être revendue, suivant les prix que leur donnera leur situation nouvelle, pour élever des constructions en bordure des rues latérales et le produit de cette vente venant en déduction de la dépense d'expropriation. Pour estimer la dépense probable, j'ai opéré comme je l'ai fait bien souvent dans mes études préliminaires pour la Ville de Paris; muni d'un plan et d'une note indicative de toutes les propriétés atteintes, je me suis transporté sur place et, maison par maison, de la gare Saint-Lazare à la gare de Lyon, j'ai noté le nombre d'étages, la nature de la construction, le rapport de la surface construite à la surface non bâtie, enfin le nombre et la nature des industries diverses que je rencontrais.

« Avec ces éléments, j'ai établi la valeur des immeubles, par groupes ou îlots, d'une rue à une autre, en prenant pour base la valeur intrinsèque du terrain et des constructions, et, suivant le quartier, suivant la nature du produit industriel ou non des maisons, j'ai majoré le produit obtenu de 25 à 40 pour 100 pour évaluer le prix des immeubles *en expropriation*.

« Quant aux indemnités industrielles et locatives, elles représentent, suivant les quartiers et les industries diverses ou spéciales qui s'y rencontrent, un quantum variant de 25 à 80 pour 100 de la valeur des immeubles, proportion établie par l'expérience. Enfin, j'ai estimé les zones de terrains à revendre, suivant leur position, à des prix qui varient de 250 à 2,200 francs par mètre, et, déduisant le produit de la

revente de la dépense totale, je suis arrivé aux résultats que M. Haag vous a déclarés, c'est-à-dire pour les trois sections suivantes :

1° De la rue d'Amsterdam à la rue Lafayette, prix moyen. 3,600 fr.
2° De la rue Lafayette au boulevard Sébastopol — 4,300 —
3° Du boulevard Sébastopol à la gare de Lyon — 1,500 —

et au total de la dépense de 493 millions de francs.

« C'est sur les mêmes bases et d'après les mêmes calculs que j'ai estimé que l'achèvement de la rue Réaumur dans la longueur de 700 mètres comprise dans le projet du chemin de fer souterrain entraînerait une dépense de 73,500,000 francs.

« D'après la marche que j'ai suivie, je crois avoir prévu aussi largement que possible les dépenses d'expropriation.

« *Avantages du projet.* — Au nombre des avantages du projet de M. Haag, je crois pouvoir signaler notamment :

« La solution du problème des logements à bon marché ;

« La sécurité de la circulation à ciel ouvert ;

« L'agrément du voyageur parisien, qui supporte difficilement d'être enfermé sous des tunnels dans lesquels la fumée, la vapeur et l'obscurité sont plus que désagréables, et où la transition subite d'une température à une autre est dangereuse en été.

« L'exécution du projet en élévation n'entraînerait à aucune des dépenses nécessitées par le chemin de fer souterrain pour le remaniement des égouts, des canalisations d'eau et de gaz et du service télégraphique et téléphonique ; il éviterait les accidents qui peuvent résulter des fuites provenant de rupture d'égouts, de conduites d'eau ou de gaz, du tassement des maisons assises sur un sol supérieur à l'excavation du chemin de fer, accidents possibles par infiltration des eaux de la Seine et inévitables notamment dans les quartiers du Marais, des Petites-Écuries, de la Grange-Batelière, Saint-Lazare et des Champs-Élysées, dont le sol est traversé par la rivière souterraine de Ménilmontant.

« Les accidents que nous indiquons se sont déjà produits dans la rue des Petites-Écuries, lors de la construction du grand égout collecteur de la rive droite, par l'affouillement des sables entraînés par les eaux dans la tranchée de l'égout.

« La construction de l'Opéra, du Vaudeville, des bureaux du chemin de fer de Lyon, rue Saint-Lazare, et des bâtiments des magasins du Printemps a suffisamment donné la mesure des difficultés et des dépenses exorbitantes qu'occasionne dans cette partie de Paris la construction de fondations descendues à plus de 5 mètres en contre-bas du sol.

« La construction du viaduc au milieu d'une voie spécialement ouverte n'entraverait en rien la circulation ; les raccordements faciles et directs aux deux gares extrêmes, la création d'une double voie traversant Paris en diagonale et dégageant la circulation, notamment des rues Montmartre et de Rivoli, l'impulsion énorme donnée à l'industrie du bâtiment par la construction de maisons en bordure des deux voies nouvelles sur un parcours d'ensemble de 11 kilomètres, tels sont encore les principaux avantages du projet.

« Quant à l'une des objections soulevées et relative à la rupture des perspectives des rues de Paris, nous ne la croyons pas bien sérieuse ; des conditions analogues se rencontrent déjà, soit au croisement des rues du Rocher, de Bellefond, Pascal, soit dans la longueur du chemin de fer de Vincennes, et assurément il serait facile de donner aux ponts à construire à la traversée des voies principales, d'ailleurs fort peu nombreuses, une forme plus élégante et plus légère que celle des ponts que nous venons de citer.

« Enfin, quant aux conditions d'habitation dans les maisons bordant le viaduc, elles ne seront pas plus désagréables que celles des maisons de la rue de Rome ou du boulevard Péreire, et, en outre, le projet a l'avantage de présenter en face des maisons, non pas un mur, un monument ou un talus, mais une suite de boutiques et de magasins donnant la vie, la clarté et l'animation aux deux rues. Ces réflexions vous paraîtront peut-être un peu trop développées, cependant j'ai pensé qu'il était nécessaire au moins de les signaler à votre attention.

« Veuillez, je vous prie, agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments les plus distingués.

« A. de Royou. »

LES CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

AVANTAGES DE LA VOIE ÉTROITE

PAR **M. Auguste MOREAU**

I

Introduction.

Depuis plusieurs années déjà nous consacrons tous nos efforts à attirer l'attention du public et des hommes compétents sur cet intéressant réseau de voies ferrées, destiné à relier la plus modeste commune de France à son chef-lieu de canton et qu'on appelle les *chemins de fer d'intérêt local*[1]. Et, dans chaque nouveau travail, nous émettions cette opinion que le seul mode pratique de construction de ces chemins était l'emploi de la voie étroite, et de la voie la plus étroite possible.

Cette idée, à la vérité, ne date pas d'hier. Dès 1861, la commission d'enquête sur la construction et l'exploitation des chemins de fer (p. 144), se prononçait franchement dans le sens de la réduction de la voie pour les lignes secondaires en acceptait comme sans inconvénient, le transbordement estimé à cette époque au chiffre de 0 fr. 40 par tonne. Puis, des ingénieurs éminents ont préconisé son emploi à diverses reprises : nous rappellerons à ce sujet les communications faites à la Société des Ingénieurs civils, notamment par Eug. Flachat de 1860 à 1870.

Depuis cette époque, la question a été discutée à plusieurs reprises dans cette assemblée sans qu'il ait paru sortir de ces discussions une

1. M. Auguste Moreau, *les Chemins de fer d'intérêt local et la loi du 11 juin 1880*. — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, avril 1882. — *Idem. Étude critique du cahier des charges type*, janvier 1883.

conclusion bien nette. Le problème a cependant été traité bien souvent de la façon la plus sérieuse par des hommes distingués, mais aussi, d'une manière un peu passionnée par un certain nombre qui ont fait ainsi dévier cette étude de sa véritable direction. Les uns, en effet, voyaient dans la voie réduite une panacée universelle et n'en voulaient pas voir employer d'autre pour aucun chemin de fer passé, présent ou futur; d'autres prétendaient que la différence de frais d'établissement entre les deux types était insignifiante et que, vu la nécessité de conserver l'unité de notre réseau national, d'éviter des transbordements coûteux, etc., il était indispensable de conserver la voie large pour l'établissement de la plus petite ligne communale.

A notre avis, les uns et les autres avaient tort et la discussion était ainsi fatalement vouée à l'avortement. Ajoutons à cela que bon nombre de brochures parurent également dans le public traitant *ab jove* le sujet. Mais bien des erreurs de détails et des affirmations hasardées dénotaient que leurs auteurs avaient étudié seulement dans les livres et non par expérience les choses dont ils parlaient, ou bien qu'ils s'étaient fait une opinion d'après celles des autres, sans même se donner la peine de les contrôler.

Quoique nous nous occupions depuis longtemps spécialement de ces questions, c'est pour éviter qu'on ne nous adresse le même reproche que nous avons attendu jusqu'à ce jour pour émettre sur ce sujet une opinion que nous voulions avant tout asseoir sur la pratique. Or, nous avons eu, depuis quelques années, l'occasion d'étudier plus de 2,000 kilomètres de lignes secondaires présentant tous les types de voie, jusqu'à celle de $0^m,60$. Cette expérience personnelle s'est portée sur toutes les branches : avant-projets, études définitives, constructions, études de matériel, exploitations technique et commerciale, etc., comme on est, en effet, obligé de le faire lorsqu'on s'occupe de ces petites entreprises où l'ingénieur est à la fois chef de tous les services. Nous avons donc pu aisément nous faire une idée exacte du meilleur mode d'exécution et d'exploitation de ces lignes dont le besoin prédominant est, avant tout et partout, l'économie.

Nous pensons que l'adoption de la voie étroite pour les grandes artères du Nord ou de Marseille, déjà actuellement insuffisantes pour leur trafic annuel d'environ 150,000 francs par kilomètre, serait un non-sens. Mais nous croyons aussi que rien ne serait plus erroné que d'employer des procédés coûteux, des pratiques dis-

pendieuses comme celles qu'entraîne avec elle la voie normale, pour les chemins de fer d'intérêt local dont les recettes sont minuscules et pour lesquels la voie de 1 mètre, généralement adoptée, est encore le plus souvent trop puissante.

La voie étroite ne doit s'appliquer qu'aux lignes à trafic restreint et sans grand développement probable dans l'avenir; mais par trafic restreint nous entendons facilement de 30,000 à 50,000 francs par kilomètre et même au delà. Chacun sait que le petit chemin de fer du Festiniog [1], dans le pays de Galles, fait facilement face à un trafic de 35,000 francs par kilomètre en voyageurs et marchandises, au moyen d'une voie de $0^m,60$ entre rails. On peut augurer de là, le mouvement auquel peut suffire une voie de 1 mètre! Quoique notre titre ne comporte en apparence que l'étude des chemins de fer d'intérêt local, néanmoins, tout ce que nous dirons dans la suite s'applique à bon nombre de lignes classées d'intérêt général dont les recettes seront notablement inférieures aux chiffres cités plus haut. Dans ce cas, nous rangerons par exemple tout le réseau de l'État qui, réalisant en moyenne et péniblement des recettes de 10,000 francs par kilomètre, aurait dû être construit tout entier à voie étroite, à voie d'un mètre par exemple.

On ne doit pas non plus hésiter dans certains cas à adopter la voie réduite, même quand on sait que le trafic peut prendre dans l'avenir un développement très important. Cela se présente dans tous les pays neufs, nouvellement colonisés, où l'industrie est à l'état embryonnaire, et qui ne pourront de longtemps se payer de luxe d'un chemin de fer à voie large. L'installation de moyens de transports économiques contribue en effet dans une large mesure au développement de la richesse et de la prospérité de la contrée, et dans la suite alors, si cela est réellement indispensable, on remplace le petit railway par un grand chemin de fer, comme cela a lieu de temps en temps aux États-Unis. Encore le plus souvent suffira-t-il de renforcer les éléments de la petite voie et d'employer des locomotives plus fortes, à la rigueur des locomotives jumelles genre Fairlie, comme on l'a fait au Festiniog, pour faire face à ce surcroît de besoins.

Bien des personnes, il est vrai, considèrent la voie étroite comme une réduction de la voie large, réduction de puissance, d'efficacité, de vitesse et de sécurité. Tous ces points de vue sont erronés comme nous

1. M. Vignes, *Étude sur les chemins de fer à voie étroite du pays de Galles.*

le démontrerons plus loin : la voie étroite est relativement plus puissante que la voie normale dont il est impossible de profiter complètement en pratique; quant à la sécurité et à la vitesse, le public ne sait pas assez qu'on peut marcher sur les petites voies à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure comme cela a lieu sur les lignes du pays de Galles. On peut même aller jusqu'à 72 kilomètres, d'après M. Fairlie. Or, la plupart des trains des grandes lignes ont une vitesse inférieure à ce chiffre, et si en pratique, les chemins de fer d'intérêt local ne l'atteignent pas, c'est qu'il est beaucoup plus intéressant de desservir toutes les localités, et, par conséquent, de s'arrêter souvent, que d'aller vite.

D'autres vont jusqu'à nier l'utilité des lignes de dernier ordre et pensent qu'un chemin de fer est inutile si l'on ne peut y trouver les commodités et le confortable offerts par les grands réseaux. Nous ne pensons pas cependant qu'il soit préférable de parcourir les pays deshérités jusqu'à ce jour en diligence à cahots désagréables et dangereux, plutôt que de se faire rouler sur des rails, si rapprochés soient-ils. Mais si l'on considère un moment l'énorme circulation qui se fait encore par les voies de terre et qui atteint 5 milliards de tonnes, on constate que le prix de ces transports varie aujourd'hui entre 0 fr. 30 et 0 fr. 50 par tonne et par kilomètre et souvent davantage dans certains cas spéciaux. Or, avec la voie ferrée la plus élémentaire, ces tarifs tombent à 0 fr. 10 en moyenne; supposons même que ce prix atteigne 0 fr. 15, car nous pensons que ces petites lignes doivent avoir des tarifs plus élevés que ceux des grandes, pour réduire autant que possible le deficit qui accompagne invariablement leur exploitation. Il en découlera sur la moyenne des transports actuels une économie de 0 fr. 15 à 0 fr. 35 par tonne et par kilomètre, en moyenne 0 fr. 25. En admettant que les chemins de fer d'intérêt local n'enlèvent aux routes et chemins que deux milliards de transports, nous serons certainement au-dessous de la vérité, car ces petites lignes pénétreront avec la plus grande facilité au cœur des localités à desservir, au centre des usines et établissements de toutes sortes, de manière à opérer un véritable drainage du trafic. Il n'en résultera pas moins, rien que par l'adoption de ce chiffre trop faible, une économie annuelle de 500 millions, représentant un capital de 10 milliards dont s'accroîtra l'épargne nationale! Et nous le répétons, ce chiffre sera certainement dépassé, car dans un avenir restreint, le chemin de fer de toutes catégories

remplacera partout la route qui ne servira plus qu'aux transports du champ à la ferme, ou aux courses à toute petite distance.

A quelque classe qu'il appartienne d'ailleurs, un chemin de fer quelconque est toujours, en principe, une source de richesse pour la région qu'il dessert. M. Faliès [1], un de nos ingénieurs les plus compétents en la matière, estime que l'économie réalisée atteint 10 fois la recette brute de la ligne.

Il y a donc urgence à établir ces nouvelles lignes au point de vue de la logique seule, sans parler de la nécessité de donner satisfaction aux populations deshéritées jusqu'à ce jour, privées de chemin de fer à cause de leur position géographique ou topographique, et qui ont cependant contribué de leurs deniers à l'établissement des grands chemins de fer qui ont enrichi leurs voisins.

Le mouvement, d'ailleurs, est aujourd'hui donné, et à chaque session des conseils généraux, il se concède un grand nombre de kilomètres de ces intéressantes lignes : plus de 3,000 kilomètres ont été ainsi concédés depuis 1880 ; mais que sont ces 3,000 kilomètres à côté des 30,000 à 40,000 qui sont encore à faire en France et que comporte à lui seul le réseau d'intérêt local ?

A l'origine, on supposait que ces chemins de fer auraient des recettes importantes ou au moins toujours suffisantes pour vivre largement de leurs propres ressources et même le plus souvent réaliser des bénéfices. Cela excuse dans une certaine limite les procédés irrationnels employés pour les établir, procédés en tout semblables à ceux des lignes à grand trafic, avec la voie ordinaire, dite normale de $1^{m},445$ entre rails et tous ses accessoires coûteux. On avait évalué le trafic probable d'après la circulation des routes voisines, et on était arrivé à des chiffres très importants de 15,000 à 20,000 francs par kilomètre et par an ; avec un semblable revenu, il était évidemment *possible* d'installer ces lignes au prix de 150,000 ou même de 200,000 francs le kilomètre et de couvrir à la fois l'intérêt du capital et les frais d'exploitation. Nous disons *possible* mais nullement *nécessaire*, car, avec une voie réduite qui aurait coûté beaucoup moins à installer, on aurait pu suffire aisément aux mêmes besoins et même faire face à un trafic beaucoup plus important.

Mais aujourd'hui, les résultats obtenus partout ont démontré qu'il

1. M. Faliès, *Étude théorique et pratique sur les chemins de fer sur routes.*

fallait être un peu moins optimiste : le trafic de ces petites lignes est toujours très restreint et presque exclusivement agricole ; celles qui font 5,000 à 6,000 francs de recette kilométrique annuelle sont rares et le deviendront encore d'autant plus dans l'avenir que les premières concédées sous le régime actuel de la garantie d'intérêt ont été naturellement partout les meilleures, c'est-à-dire celles qui exigeaient de la part des intéressés les moindres sacrifices. C'est 3,000 à 4,000 francs qu'il faut considérer aujourd'hui comme une bonne recette, et bien souvent encore on obtiendra un chiffre inférieur à celui-là. On voit, d'après cela, quelle erreur économique on commettait en installant ces lignes avec tous les procédés coûteux employés et justifiés sur les grandes artères, alors que dans les conditions les plus favorables, et avec la voie réduite elles parvenaient à couvrir leurs frais d'exploitation et à présenter quelquefois un léger excédent, mais jamais à solder l'intérêt des capitaux engagés.

L'adoption aveugle et systématique de la voie normale avec les sujétions qu'elle comporte et les fortes dépenses qu'elle entraîne, a été l'un des principaux facteurs des graves mécomptes qui ont amené l'échec des entreprises de chemins de fer secondaires, à la suite de l'extension qu'on croyait leur donner au moyen de la loi de 1865 ; la faute en fut le plus souvent d'ailleurs, comme cela se présente encore aujourd'hui, aux populations elles-mêmes qui se trouvaient humiliées lorsqu'on leur proposait la voie étroite ; partout d'ailleurs, on s'effrayait de la charge prétendue écrasante du transbordement sans se douter, comme nous le verrons plus loin, que les grandes lignes transbordent volontairement et pour les seules commodités de l'exploitation, 80 pour 100 du tonnage total. L'opinion publique était en outre peu sympathique à la voie étroite qu'on supposait impuissante et dangereuse malgré les exemples connus qui fonctionnaient cependant à la plus grande satisfaction de tous.

De pareils errements pouvaient paralyser longtemps le développement du réseau d'intérêt local, et c'est en effet ce qui est arrivé. Bon nombre de populations attendent encore aujourd'hui qu'on veuille bien les doter de voies de communication rapides et économiques. Est-il réellement équitable de les faire ainsi attendre indéfiniment ? Non certes, mais cependant à une condition, c'est que ces populations n'exigent pas l'impossible, et que, soit par ignorance, soit par amour-propre, elles ne demandent pas un instrument disproportionné avec le travail

à effectuer. Rien ne serait plus ridicule que d'installer avec grand fracas une grue de 10 tonnes pour soulever quelques kilogrammes, ou, bien d'employer le huit-ressorts où la charrette suffit[1]. Or, le travail à effectuer par ces nouvelles lignes est connu maintenant, d'après les exemples en exploitation ; les transports de voyageurs et de marchandises seront toujours peu importants : et, construire ces chemins avec tous les procédés mis en œuvre pour les grandes artères, avec la grande voie, le grand matériel, en un mot avec la grande dépense, c'est en effet employer la voiture de luxe réservée au château pour faire le service de la ferme. Les recettes devant être faibles, les dépenses d'installation et les frais d'exploitation doivent être réduits à leur strict minimum ; on se rend sans cela coupable d'une grave erreur technique et économique, et c'est pour avoir méconnu cette grande vérité que l'on a eu à enregistrer dans ces dernières années la débâcle du fameux programme Freycinet.

Quel est donc le moyen d'être logique tout en restant pratique ? C'est d'adopter, nous l'avons déjà dit, la voie étroite et la voie la plus étroite possible. Il n'y a pas à hésiter, ni à faire de concessions à la routine qui cherchera toujours à barrer le passage. Chaque trafic doit avoir la voie qui lui correspond : il faut la chercher, l'arrêter et franchement l'adopter ; or, la voie correspondant au trafic réduit des chemins de fer secondaires, ne peut être que la voie réduite.

II

Exemples divers de chemins à voie étroite.

Les chemins à voie étroite se sont d'ailleurs développés d'une façon considérable depuis un certain nombre d'années dans toutes les parties du monde et même en France, où l'on a cependant été longtemps stationnaire après avoir, pour ainsi dire, commencé le mouvement.

Nous ne reviendrons pas sur les chemins cités partout, et qui ont toujours servi de types et d'arguments dans les discussions ; nous nous arrêterons de préférence sur ceux qui ont été moins décrits et méritent cependant d'être connus.

1. M. Emile Level, *Les Chemins de fer devant le Parlement.*

Un des exemples les plus remarquables de l'adoption raisonnée de la voie étroite sur une grande échelle, a été donné par la Norwège, dès 1861. Les premiers chemins de fer construits dans ce pays très accidenté et très pauvre, furent établis en 1854, par Stephenson, avec la voie normale, et coûtèrent, malgré des prodiges d'économie, 172,000 francs le kilomètre. Il était de toute évidence que le trafic ne devait jamais rémunérer un semblable capital, et la Norwège se voyait condamnée à se passer de chemins de fer, lorsqu'un ingénieur distingué, M. Carl Pihl consacra tous ses soins à réduire autant que possible la dépense tout en conservant le type ordinaire ; il parvint ainsi à réduire le coût kilométrique à 100,000 francs, non compris cependant les ateliers. Il y avait là déjà évidemment un grand progrès de réalisé, mais on ne tenait pas encore la solution définitive ; M. Pihl se décida alors à adopter la voie de 1,06 et put ainsi arriver à établir des lignes qui, tout compris, revinrent à 83,000, 72,000 et même 49,000 francs le kilomètre, selon les accidents à surmonter. Et dans les travaux nécessaires on compte des tunnels, de grands viaducs de 21 mètres de hauteur, beaucoup de rochers, etc. ; on n'adopta même pas immédiatement les rayons minimums possibles pour les courbes.

M. Pihl donne à ce sujet certains chiffres fort intéressants à consulter. Il trouve que la hauteur des déblais ou remblais dans les deux cas, est comme 13 à 10 : la différence entre les cubes de terrassement, comme 7 à 4. La largeur de la plate-forme portée à 3,81, paraît un peu excessive pour la voie étroite : M. Fowler, dans son rapport au gouvernement de l'Inde, recommande de prendre trois fois la voie, ce qui donnerait 3^{m},20. Certains ingénieurs ont cru pouvoir prendre pour la voie large elle-même, une plate-forme de 3^{m},66 [1] ; cela est tout à fait insuffisant, et une ligne installée dans ces mauvaises conditions reviendrait plus cher à entretenir qu'à construire. M. Fairlie pense que le minimum possible est 4^{m},27 : en France, le cahier des charges type des lignes d'intérêt général exige 6 mètres, et la plus petite dimension qu'on ait donnée aux chemins de fer à voie normale unique, est 5^{m},20.

Les chemins de fer de la Suède sont tous à voie étroite, dont la largeur varie de 0^{m},79 à 1^{m},22, et le prix kilométrique moyen

1. M. Silas Seymour, *Rapport sur le chemin de fer du Texas-Pacific.*

60,000 francs. Le développement total du réseau scandinave dépasse aujourd'hui 2,000 kilomètres.

Au Brésil, les 4/5 du réseau qui atteint 7,000 kilomètres sont à voie étroite, variant de $0^m,76$ à $1^m,38$: la largeur dominante est 1 mètre sur 4,800 kilomètres. Le dernier cinquième seul est à la voie très exagérée de $1^m,60$ (don Pedro II). Toutes ces lignes à voie réduite supportent avec la plus grande facilité un trafic moyen de 20,000 francs par kilomètre, c'est-à-dire deux fois autant que le réseau de l'État en France !

On en compte 1,400 kilomètres au Canada à la voie de $1^m,067$, entre autres, la ligne de Toronto-Grey et Bruce construite par M. Douglas Fox, et dont le prix s'est élevé à 43,000 francs le kilomètre, sans le matériel roulant.

La Nouvelle-Zélande en possède 650 kilomètres également à la voie anglaise de $1^m,067$.

Aux États-Unis où l'on a employé un peu aveuglément toutes les largeurs de voie, la voie étroite s'étend sur plus de 12,000 kilomètres, et varie généralement de $0^m,90$ à $1^m,067$.

Les Indes anglaises en comptent 2,000 kilomètres à la voie de 1,067, toujours trois pieds six pouces anglais.

Remarquons qu'un grand nombre de ces lignes rentrent dans la catégorie de celles que nous signalions plus haut et qui doivent s'établir en hâte et économiquement dans des pays neufs, dût-on plus tard amener des modifications au système employé. — C'est ce qu'on a également fait dans le Queensland en Australie, comme l'explique très clairement le rapport de l'ingénieur qui a établi les lignes de cette contrée, M. Fitzgibon[1]. Un certain nombre de lignes à voie de $1^m,067$, partant des ports de la côte, pénètrent dans l'intérieur, suffisant parfaitement à un mouvement journalier, dans chaque sens, de 400 voyageurs et 200 tonnes de marchandises, avec une vitesse de 25 à 30 kilomètres à l'heure. Le coût kilométrique a été de 93,000 francs en conditions moyennes, et a atteint le chiffre de 155,000 francs dans les parties très accidentées, c'est-à-dire qu'à voie large, ces lignes eussent été tout à fait impossibles à établir jusqu'à l'époque fort éloignée où la région aurait pu faire vivre des chemins immobilisant un énorme capital.

1. M. Fitzgibon, *Rapport sur les chemins de fer du Queensland*, 1865.

La ligne d'Ergastiria en Grèce, établie à voie de 1 mètre a coûté, tout compris, 65,000 francs le kilomètre, dans un terrain assez accidenté, puisqu'il a fallu construire un tunnel. On dut d'ailleurs faire venir de France tout le personnel surveillant et même les ouvriers, ce qui amena une augmentation sensible dans la dépense.

En Europe, en général, et en France, en particulier, les lignes à voie étroite ont plus spécialement le caractère de voies tout à fait secondaires : elles ont pris dans ces dernières années un développement important, spécialement dans notre pays où l'on est résolument entré dans cette direction, surtout depuis la promulgation de la loi du du 11 juin 1880. Quoique les lignes en exploitation soient encore peu nombreuses, le nombre de kilomètres concédés dans les départements, soit aux compagnies spéciales qui s'occupent de ce genre d'entreprises, soit à des particuliers, dépasse actuellement comme nous l'avons dit, 3,000 kilomètres.

Un des exemples les plus intéressants de ce genre de lignes, est le chemin de Broëlthal, dans la Prusse Rhénane.

La ligne du Broëlthal a une longueur de 19 kil. 7 ; elle va de Rupichterof à Hennef, station du chemin de fer de Cologne à Giesen ; la voie est posée sur route entre Rupichterof et Waarth. L'écartement des rails n'est que de $0^m,78$, condition imposée par la faible largeur de la route ; les traverses ont $1^m,256$ de longueur et sont espacées de $0^m,47$ d'axe en axe. Le ballast n'a que $0^m,21$ d'épaisseur : le rail à patin pèse 10 kilog. 43 le mètre ; les joints sont munis d'éclisses et de plaques. Les rampes minimum ont $0^m,0125$; le rayon maximum des courbes est $37^m,7$ près du pont de Sily à Allner.

Les locomotives-tenders ont 3 essieux couplés et pèsent en charge 12 tonnes également réparties sur les 3 essieux ; les dimensions du cylindre sont $0^m,34$ de longueur sur $0^m,286$ de diamètre. Les wagons peuvent porter 5 tonnes et présentent un poids mort de $2^t,5$; leur largeur atteint $1^m,88$, c'est-à-dire 2,4 fois la largeur de la voie ; primitivement, l'administration n'avait consenti qu'à la largeur de $1^m,413$.

Le tarif adopté atteint le tiers seulement de celui des transports sur la route et suffit pour rémunérer le capital. La ligne est en effet installée partout très économiquement, et présente une pente constante dans le sens des plus fortes charges.

D'autres lignes analogues ont été établies en Silésie, mais elles ont

coûté fort cher; le terrain est très accidenté et donne un profil en long sur lequel la traction est fort coûteuse ; de sorte que la situation de ces lignes est des plus mauvaises.

Les colonies françaises ont toutes adopté la voie d'un mètre ; ainsi l'île de la Réunion en compte 132 kilomètres de ce type qui est également appliqué au Sénégal et en Corse, et le sera évidemment pour toutes les lignes secondaires s'élevant à près de 6,000 kilomètres, et restant à construire en Algérie [1].

Le tableau suivant donne un résumé des principales lignes à voie étroite exploitées ou en construction, en France et à l'étranger.

1° *France et Colonies.*

	Voie de
Mondalazac à Salles-la-Source (Aveyron)	1,10
Villiers-le-Bel à la Station (Oise)	1,10
Arzew à Saïda et Mecheria (Oran)	1,055
Haironville à Triaucourt (Meuse)	1,00
Nançois-le-Petit à Gondrecourt (Meuse)	1,00
Gray à Gy (Haute-Saône)	1,00
Tavaux-Pontsericourt (Aisne)	1,00
Lagny à Villeneuve-le-Comte (Seine-et-Marne)	1,00
Les Andelys à Étrépagny (Eure)	1,00
Hermes à Beaumont (Oise)	1,00
Anvin à Calais (Pas-de-Calais)	1,00
Marlieux à Châtillon-sur-Chalaronne (Ain)	1,00
Valenciennes à Saint-Amand (Nord)	1,00
Valenciennes à Condé et Vieux-Condé (Nord)	1,00
Cambrai à Catillon (Nord)	1,00
Denain au Catelet (Nord)	1,00
Mokta-el-Hadid (Algérie)	1,00
Saint-Étienne à Rives-de-Giers (Loire)	1,00
Commentry (Loire)	1,00
Le Mans au Grand-Lucé (Sarthe)	1,00
Lignes de la Réunion	1,00
Id. du Sénégal	1,00
Id. de l'Indre-et-Loire	1,00
Id. de l'Allier	1,00
Puymorens (Pyrénées-Orientales)	0,90
Blanzy (Saône-et-Loire)	0,80
Cessous et Trébiau (Gard)	0,77
Rochebelle (Gard)	0,76
Marsillac à Tramon (Aveyron)	0.70
Camerata (Oran)	0,70
Flavy-le-Martel (Aisne)	0,60
Lignes de mines diverses 0,50 et	0,60

1. M. Fousset, *Mémoire sur les chemins de fer algériens*, v. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, décembre 1882.

2° *Etranger.*

		Voie de
Haut et Bas-Flénu (Belgique)		1,20
Anvers à Gand (Belgique, pays de Waes)		1,15
Suède	0,75 à	1,22
Norwège		1,067
Lambach-Munden (Autriche)		1,067
Queensland (Australie)		1,067
Livonie (Russie)		1,067
Nouvelle-Zélande		1,067
Indes anglaises		1,067
Novogorod (Russie)		1,067
Colonie du Cap (Hope-Town)		1,067
Appenzell (Suisse)		1,00
Lausanne à Echallens (Suisse)		1,00
Kaltbad-Scheidegg (Righi-Suisse)		1,00
Milan et environs		1,00
Ergastiria (Grèce)		1,00
Nulhatee (Indes)		0,91
Denver-Rio-Grande (États-Unis et Mexique)		0,91
Canada		0,91
Amérique du Nord		0,91
Turin à Rivoli (Italie)		0,90
Saint-Léon (Sardaigne)		0,80
Broëlthal (Prusse)		0,78
Liestal à Waldenbourg (Suisse)		0,75
Rostoken à Markdof (Angleterre)		0,75
Ocholt à Weterstede (Oldenbourg)		0,75
Militaire hongrois		0,75
Saxe		0,75
Silésie (Prusse)		0,75
Turquie		0,75
Busco-Park (Angleterre)		0,75
Dinaric (Angleterre)		0,60
Dinas à Port-Madoc et Festiniog		0,60
Lignes d'Écosse		0,60
Chassart et Marbais (Belgique)		0,60

On voit d'après ce tableau que la voie la plus adoptée en France est celle de 1 mètre entre rails ; en Allemagne c'est la voie de $0^{m},75$, et dans tous les pays soumis à l'influence ou aux traditions de l'Angleterre, les deux types les plus fréquents sont ceux de 3 pieds ou $0^{m},91$, et 3 pieds 6 pouces ou $1^{m},067$.

Devant cette variété de types divers, on peut se demander *à priori*, en admettant la voie étroite, quelle est la meilleure largeur à adopter. Il ne peut y avoir en réalité aucune règle fixe à cet égard si l'on veut réellement faire quelque chose de logique, c'est-à-dire proportionner l'instrument au trafic correspondant. Ce qu'il importe avant tout, c'est de réduire notablement la largeur de la voie normale ; en dehors de

cela, chaque chemin doit adopter sa voie spéciale en rapport avec les besoins auxquels il doit suffire.

Dès 1865, à propos de la loi sur les chemins de fer d'intérêt local, MM. Thirion, directeur des travaux du réseau central de la Compagnie d'Orléans, et Bertera, ingénieur en chef des mines[1], en étudiant la ligne de Mondalazac à Salles-la-Source (Aveyron), concluaient que la petite voie peut rendre de réels services lorsque la grande n'est pas possible, et voulaient qu'on laissât le choix de la voie à la liberté des intéressés, sauf approbation par l'autorité compétente. Mais le type proposé par ces messieurs, était beaucoup trop grand encore, et la voie de $1^{m},20$ préconisée par eux était appelée à un succès nul, car les $0^{m},30$ qu'elle économisait sur la voie large, ne constituaient pas une différence assez importante, et nous partageons complètement l'avis de M. Couche qui, à ce sujet, dit qu'il faut réduire sérieusement ou pas du tout[2]. La crainte manifestée de ne pouvoir avec la voie de 1 mètre avoir des locomotives dont le corps cylindrique fût assez puissant, était absolument chimérique, comme l'ont surabondamment prouvé depuis les nombreux exemples de lignes construites à voie d'un mètre.

Mais c'est évidemment sous l'empire de cette préoccupation que fut adoptée à l'origine la voie de $1^{m},20$, comme sur certaines lignes belges du Flenu, $1^{m},15$ comme sur la ligne d'Anvers à Gand, $1^{m},10$ comme à Mondalazac et sur la première traversée provisoire du mont Cenis avec le système Fell à rail central, etc.

Au point de vue industriel, il est avantageux cependant de ne pas multiplier à l'excès le nombre des types, afin de pouvoir rencontrer facilement dans les usines une fabrication courante de matériel qui rende les prix plus accessibles que ceux d'une commande spéciale, et permettre de se procurer aisément des pièces de rechange. Cela est donc intéressant au double point de vue de l'installation première et de l'entretien. Dans cet ordre d'idées, nous pensons que l'on peut s'arrêter à deux types qui semblent suffire à tous les besoins et commencent déjà à être sanctionnés par la pratique.

Ainsi, pour les chemins de fer ayant encore une certaine impor-

1. MM. Thirion et Bertera, *Observations sur le projet de loi des chemins de fer départementaux.* Dunod, éditeur.
2. M. Couche, *Traité de la construction et de l'exploitation technique des chemins de fer.*

tance, pouvant compter sur un trafic relatif et ne parcourant pas des contrées trop accidentées, la voie de 1 mètre entre rails paraît indiquée.

Dans tous les autres cas, on ne doit pas hésiter à adopter la voie de 0m,75. Le mètre n'a pas seulement cet immense mérite d'être notre unité nationale et l'unité universelle de demain, mais il constitue réellement, lorsqu'on a encore à espérer quelque trafic, un type de voie simple, économique et rationnel, aussi bien au point de vue de l'exécution des travaux, que sous le rapport de la bonne utilisation du matériel. Quant à la voie de 0m,75, elle paraît préférable pour les lignes à trafic insignifiant. Encore l'exemple du Festiniog avec sa voie de 0m,60, et ses recettes relativement énormes est-il bien fait pour encourager à descendre au-dessous. Mais pour prendre une moyenne, nous nous arrêterons à la voie de 0m,75 qui est en réalité la véritable voie étroite à adopter pour les lignes d'intérêt local, quoiqu'elle l'ait encore été beaucoup trop peu en France jusqu'à ce jour. Elle peut en outre être placée plus facilement que la voie de 1 mètre sur l'accotement des routes et chemins qui exigent, comme on sait, presque toujours des travaux d'élargissement pour se conformer aux exigences des règlements des 18 mai et 6 août 1881. Le matériel roulant qui aura au maximum une largeur de 1m,875 égale à deux fois et demie la largeur de la voie, présentera donc des dimensions transversales notablement plus faibles que celles des voitures ordinaires circulant sur les routes, et pour lesquelles les règlements de police permettent une largeur de chargement de 2m,50. On voit le parti que l'on pourra tirer de cette qualité précieuse, surtout dans certaines traverses de villages.

Il pourrait arriver enfin, par hasard, que le trafic vînt à augmenter dans des proportions inattendues ; ce sera une surprise d'autant plus rare que nous possédons aujourd'hui des données certaines sur l'évaluation du trafic de ces lignes, presque toujours exclusivement agricoles [1]. On n'aura pas pour cela dans nos contrées, à changer complètement le type et à revenir à la voie large comme cela peut devenir nécessaire dans les pays neufs qui se sont peu à peu développés ; il suffira comme au Festiniog, de renforcer toutes les parties de la voie, sans avoir aucunement pour cela besoin d'en modifier la largeur,

1. M. Ch. Baum, *Étude sur les chemins de fer d'intérêt local*. Annales des ponts et chaussées 1878, 2e semestre, tome XV.

c'est-à-dire de refaire les travaux de premier établissement. Les trains devenant plus lourds exigeront naturellement des locomotives plus fortes, et on sera peut-être obligé de prendre le type à bissel articulé, permettant un plus grand développement de la chaudière et du tender, ou à la rigueur d'adopter le système Fairlie signalé plus haut et qui consiste essentiellement dans l'emploi de deux locomotives jumelles accouplées dos à dos afin d'être conduites par le même mécanicien.

III

Flexibilité de la voie étroite.

Beaucoup de personnes s'imaginent encore aujourd'hui que l'économie réalisée par la voie étroite réside en une réduction de la plate-forme et des travaux, correspondant à la diminution de largeur de la voie. En réalité, cette économie, qui se fait sentir sur tous les chapitres de la dépense, est due surtout à deux éléments que l'on peut manier à son gré beaucoup plus facilement avec la voie réduite, toutes choses égales d'ailleurs, ce sont :

1° La diminution des rayons des courbes;

2° L'augmentation des déclivités.

Dans les chemins de fer, en effet, il est indispensable de rendre solidaires les roues d'un même essieu en les calant à poste fixe sur ce dernier, et de disposer les essieux parallèles. Tous les subterfuges employés jusqu'à ce jour pour éviter la *rigidité* du matériel et ce calage des roues, n'ont pu entrer sérieusement dans le domaine de la pratique et n'y entreront probablement jamais. Tout ce qu'on peut faire est d'apporter quelques adoucissements au système, par certains jeux dans les plaques de gardes et dans la voie, par la conicité des bandages, et par certains perfectionnements comme les plans inclinés, etc. On arrive ainsi dans la pratique à inscrire le matériel dans des courbes de rayons sensiblement plus petits que ne paraissent le permettre les diagrammes théoriques. Mais il faut en somme toujours conserver dans une large mesure le principe de la rigidité, c'est-à-dire le parallélisme des essieux et surtout le calage des roues. Des tentatives faites pour adapter une roue folle sur deux par essieu dans des chemins à voie de 1 mètre à faible vitesse, ont

complètement échoué [1]. Nous l'avons essayé également dans les Landes, sur de tous petits porteurs fournis par la maison Paupier pour voie de $0^m,60$ à traction de chevaux ; cela nous paraît le seul cas où l'on puisse appliquer sans danger et partiellement le principe de l'indépendance des roues ; et encore cette malheureuse roue folle était-elle fréquemment la cause de bien des chocs obliques amenant des dislocations dans le petit train et des déraillements. Mais son emploi était néanmoins justifié à cause des rayons de 10 à 15 mètres qu'on avait quelquefois à franchir en courbe.

D'ailleurs, ce ne sont pas les véhicules, voitures ou wagons qui sont les plus gênants en pareil cas : c'est surtout la locomotive qui présente toujours le plus grand empâtement, c'est-à-dire l'écartement maximum entre les essieux extrêmes. Si donc l'on cède à la tentation de construire la machine avec un truck articulé permettant aux essieux de perdre leurs parallélismes, il devient impossible d'accoupler toutes les roues, d'obtenir toute l'adhérence sur laquelle on peut compter, et on y perd notablement en force traction. Or, ce n'est pas sur les petits chemins de fer de ce genre que l'on peut se permettre ce genre de pertes. Il est donc préférable de laisser la locomotive rigide en réduisant autant que possible son empâtement ; et en effet, aujourd'hui, il n'est plus nécessaire de recourir aux systèmes spéciaux de locomotives pour la circulation sur voie étroite ; d'excellentes maisons françaises de construction comme le Creusot, les Kœchlin de Mulhouse, etc., fournissent pour toutes les largeurs de voie des petites locomotives à 2 ou 3 essieux couplés qui ne laissent absolument rien à désirer au double point de vue de la puissance et de la stabilité. Il n'y a que réellement dans le cas exceptionnel où des trains excessivement chargés exigeront une grande puissance sur une voie réduite, que les machines auront besoin d'un développement spécial de certains organes utiles comme le corps de chaudière, les cylindres, etc., qui pourraient être gênés par la faible largeur de la voie. Alors on pourra employer les machines Fairlie ou simplement les types à bissel articulé et 3 essieux couplés qui fonctionnent sur les lignes d'Arzew à Saïda, Anvin à Calais, Hermes à Beaumont, etc., et encore pensons-nous qu'en réduisant notablement le diamètre des

1. M. Ledoux, *Description raisonnée de quelques chemins de fer à voie étroite*. Dunod, éditeur.

roues, qui seules gênent le développement en largeur de la chaudière, on pourrait se passer de ces systèmes spéciaux. Or, cette réduction, ne paraît présenter ici aucun inconvénient et n'entraîner aucun frottement exagéré, étant données les faibles vitesses avec lesquelles on est forcé de marcher sur ces petites lignes.

En résumé, en courbe, la roue extérieure a donc à faire dans le même temps un parcours plus grand que sa jumelle, et comme elles font forcément le même nombre de tours par suite de leur calage sur les essieux, il en résulte pour la roue la plus éloignée du centre de la courbe, un glissement d'autant plus accentué que les roues sont plus écartées l'une de l'autre, c'est-à-dire que la voie est plus large. De même, la résistance due à l'inscription en courbe de cordes rectilignes dues au parallélisme des essieux est d'autant plus sensible que les essieux sont plus éloignés l'un de l'autre, c'est-à-dire qu'on a un plus grand empâtement; on a donc tout intérêt dans la mesure du possible, à avoir des véhicules plus petits présentant des essieux plus rapprochés.

L'influence exercée par une courbe dépend par suite de la différence entre les développements de la file extérieure et de la file intérieure des rails composant la courbe ; si R et R′ sont les rayons correspondants aux deux lignes de rails et α l'angle au centre de la courbe, cette différence sera exprimée par :

$$2\pi(R' - R)\frac{\alpha}{360}$$

Ou si nous appelons la largeur de la voie $L = R' - R$:

$$\frac{\pi L \alpha}{180}$$

Pour un même écartement d'essieux, cette différence, qui entraîne une résistance spéciale de glissement, est donc en raison directe de la largeur de la voie. Ainsi, la courbe de 200 mètres de rayon avec la voie de 1 mètre, correspond à peu près à celle de 300 mètres sur la voie normale : il y a en effet à peu près la même différence $0^m,50$ pour 100 mètres entre les deux files de rails.

En effet, avec la voie normale et un rayon de 300 mètres, le développement de la file extérieure de rails pour une circonférence entière est de $2\pi.\ 300,75 = 1864,65$; celui de la file extérieure de $2\pi.$

299,25 = 1855,35 : la différence d'une file à l'autre est donc 9^{m},30 pour un développement moyen de 1,860 mètres, ou environ 0^{m},50 pour 100 mètres. Avec la voie de 1 mètre et le rayon de 200, on a de même comme développements 2 π. 200,50 = 1,243,10 et 2 π. 199,50 = 1,236,90 ; la différence est 6^{m},20 pour un développement moyen de 1,240 mètres, c'est-à-dire encore environ 0^{m},50 pour 100 mètres. Mais, comme en outre, les essieux sont plus rapprochés l'un de l'autre avec le matériel de la petite voie, c'est en réalité dans la pratique la courbe de 100 à 150 mètres de rayon, selon l'empâtement, qui correspond en voie de 1 mètre à celle de 300 mètres de la voie normale au point de vue de la difficulté opposée à la traction. Ces différences sont d'ailleurs, comme nous l'avons dit, d'autant plus accusées, que la voie est plus étroite.

Avec la voie de 1 mètre on pourra donc employer à résistance égale des rayons de courbes inférieurs de moitié, à ceux de la voie normale, comme l'a en effet sanctionné la pratique; lorsqu'on y sera forcé on pourra même descendre au-dessous de ces chiffres, car avec la voie de 1 mètre, le matériel peut parcourir encore assez facilement des courbes de 60 mètres de rayon : le chemin de fer de Mondalazac présente couramment des courbes dont les rayons varient de 40 à 100 mètres.

Il sera bon seulement d'éviter le rapprochement de courbes raides avec de fortes déclivités. Ces dernières ont peu d'effet par elles-mêmes sur les lignes d'intérêt local parce que l'on est toujours obligé, pour la commodité du public, de faire deux ou trois trains par jour dans chaque sens, alors qu'un seul suffirait le plus souvent pour satisfaire au trafic. Les trains forcément tous mixtes et peu chargés, permettent donc l'emploi de fortes rampes.

Il résulte de ce qui précède que si l'on conserve avec la voie étroite le même tracé et le même profil en long qu'avec la voie large, la traction sera plus facile et partant plus économique dans le premier cas pour la même résistance; pour une même traction on peut inversement remorquer une charge plus lourde à une plus grande vitesse.

Eu égard au profil en long seul, la voie étroite pourra, en conservant les mêmes déclivités que la voie large, employer des courbes plus raides pour la même résistance à la traction, ce qui permettra d'éviter bon nombre d'ouvrages coûteux. Ou bien, si le terrain n'est pas très accidenté, on conservera le même tracé en plan et, avec la même

résistance choisir, des déclivités sensiblement plus fortes. Cet avantage de pouvoir employer de plus fortes rampes, qui est si précieux en terrain montagneux, est encore accentué par ce fait que les trains sur la voie étroite, présentent moins de poids mort et qu'une charge utile peut être remorquée à plus forte rampe ou avec une moindre dépense de force sur la voie étroite. Nous verrons plus loin, en effet, en détail, qu'étant donnée la largeur de voie suffisante pour faire face à un trafic déterminé et obtenir la capacité nécessaire, toute augmentation de largeur augmente le poids du matériel roulant en plus grande proportion qu'elle n'ajoute à la capacité de la voie : en d'autres termes, le poids mort d'un train s'accroît avec la largeur de la voie.

Cette flexibilité de la voie étroite représente une cause importante d'économie : elle est loin de se constituer la seule, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant.

IV

Avantages de la voie étroite.

Dans tout ce qui suit, nous supposerons que l'on adopte la voie d'un mètre la plus employée aujourd'hui en France ; les résultats obtenus seraient évidemment encore exagérés par l'emploi d'une voie plus étroite, comme celle de $0^m,75$ que nous désirerions voir se répandre davantage.

Nous pensons également en principe, qu'il ne faut pas chercher sans limites à économiser à outrance sur la construction, sans se préoccuper de l'exploitation future. En un mot, on devra toujours se fixer à l'avance, d'une manière rationnelle et eu égard au trafic largement prévu, le maximum de facilités que l'on pourra adopter comme courbes et déclivités.

Cela posé, nous allons examiner l'un après l'autre, les différents chapitres de la construction et de l'exploitation, et voir les économies directes réalisées immédiatement rien que par la substitution du type réduit à la voie normale.

§ 1er. **Infrastructure.** — Cette branche de la construction comprend, comme on sait, les acquisitions de terrain, les terrassements et les ouvrages d'art.

1° *Acquisitions de terrains.* — En suivant les exigences du cahier des charges type du 6 août 1881, qui prescrit une dimension libre très

exagérée de $0^m,90$ entre la crête du talus extérieur et la saillie extrême du matériel roulant, on peut adopter 4 mètres comme largeur moyenne de la plate-forme pour la voie de 1 mètre. D'après les cahiers des charges de 1859 et 1863, avec la voie normale, cette dimension atteint 6 mètres sur toute ligne à une voie. Par conséquent, en passant de l'une à l'autre, on obtient immédiatement une économie de 1/3 en supposant que les deux tracés soient identiques. A la rigueur, on peut réduire un peu la plate-forme de 6 mètres ; mais on pourrait de même diminuer les 4 mètres de la voie étroite de sorte, qu'en somme, le rapport resterait à peu près constant. Le cahier des charges type du 6 août 1881, à la vérité a un peu bouleversé les proportions précédentes. Avec la voie normale, la largeur maximum du matériel roulant, toutes saillies comprises est de $3^m,10$; avec celle de 1 mètre, cette largeur est réduite à $2^m,80$ (art. 7). En outre, la largeur de la plate-forme est obtenue dans tous les cas par l'addition de chaque côté du matériel, d'une largeur fixe de $0^m,90$, soit au total $1^m,80$; cela donne, avec la voie large, une plate-forme qui peut être réduite à $4^m,90$ tandis que celle de la voie étroite présente la largeur exagérée de $4^m,60$. Il n'y aurait donc en somme, entre les deux, qu'une différence de $0^m,30$ dans ces cas extrêmes.

Or, *à priori*, rien n'est plus illogique que cette cote fixe de $0^m,90$ qui est constante pour n'importe quelle largeur de voie et s'applique aussi bien à un chemin de fer de $0^m,50$ qu'à une ligne à voie normale de $1^m,445$ entre rails. La plate-forme est faite, pensions-nous jusqu'à ce jour, pour répartir le poids des charges qui passent au-dessus d'elle. Il faut que ce poids, qui est plus ou moins proportionnel à la largeur de la voie, soit réparti sur une surface suffisante pour que les terrassements et les ouvrages d'art ne travaillent pas d'une façon exagérée sous le passage des trains. La plate-forme doit donc être en rapport direct avec la largeur de la voie : en pratique elle doit être de 3 à 3 fois 1/2 cette largeur. La voie de 1 mètre étant de 1/3 moins large que la voie normale, sa plate-forme doit être immédiatement de 1/3 moins large que celle de la grande voie. Mais en admettant même les exigences du cahier des charges et une différence de $0^m,30$ seulement dans les plates-formes, la différence réelle des emprises est d'au moins 1 mètre à cause de la moindre hauteur des terrassements[1] ; l'économie

1. M. Rey, *Séance de la Société des Ingénieurs civils du 19 janvier 1883.*

sur la surface occupée en voie courante est donc au minimum de 20 0/0.

Mais cette économie est loin d'être la seule qu'on réalise. Comme la petite voie peut disposer de courbes de moitié plus raides et de pentes sensiblement plus fortes toutes choses égales d'ailleurs, son tracé sera beaucoup plus flexible et permettra d'éviter nombre d'ouvrages d'art, de déviations, etc., nécessitant des chemins d'accès; on évitera de même nombre de parcelles exigeant des indemnités importantes de dépréciation, qu'il faudrait acheter tout entières, ou qui nécessiteraient l'établissement de chemins latéraux; et enfin les surfaces d'emprises des gares seront elles-mêmes notablement réduites puisque les voies parallèles étagées dans celles-ci auront toutes une largeur réduite de 1/3. Les surfaces exigées par les bâtiments spéciaux comme les remises, dépôts, halles etc., seront plus faibles pour la même raison.

On voit dans quelle mesure on pourra réduire ce terrible alea de l'expropriation.

Bref, si à première vue l'économie réalisée sur ce chapitre est de 20 à 35 pour 100, en réalité elle atteint 40 à 50 pour 100 et peut être estimée en moyenne à 45 pour 100.

2° *Terrassements.* — Si les deux voies suivaient le même tracé, l'économie, d'après ce que nous avons dit plus haut sur les largeurs des plates-formes, consisterait en une tranche minimum de 2 mètres à supprimer d'un bout à l'autre de la ligne sur toute la hauteur des déblais et remblais.

En supposant une hauteur moyenne de déblais de 3 mètres (chiffre notablement dépassé en terrain montagneux), la différence de dépense au profit de la voie étroite serait déjà d'environ 20 pour 100. Mais, grâce à la flexibilité de la voie étroite, le tracé peut être étudié d'une façon assez serrée pour épouser à peu près complètement les courbes de niveau, et l'on a toujours intérêt à le faire, dût-on allonger notablement le parcours comme le savent tous les hommes du métier et comme l'a nettement démontré le regretté G. Arnoult, à propos de la ligne d'Anvin à Calais[1]. On comprend qu'en suivant ainsi toutes les sinuosités du sol, on puisse réduire notablement l'importance des terrassements à exécuter.

Et en effet, si l'on admet même, comme l'exige le cahier des charges du 6 août 1881, que les deux plates-formes ne diffèrent entre-elles que de 0m,30, comme nous l'avons vu plus haut, la voie étroite, grâce à sa

1. M. G. Arnoult, *Note sur l'influence des rayons des courbes sur les dépenses de terrassement.* — *Revue générale des chemins de fer*, avril 1883.

flexibilité, permettra d'obtenir sur les terrassements courants, une économie de 50 pour 100 en admettant que les travaux considérés n'exigent que 3 mètres de déblais au mètre courant, ce qui est peu. Ce calcul, qui a été fait par tous les spécialistes la première fois qu'ils se sont trouvés en présence de la question, a été exposé d'une façon très nette par M. Rey, dans la séance du 19 janvier 1883.

La meilleure utilisation du matériel et la diminution du poids mort dans les trains permettant l'emploi de déclivités plus fortes, on pourra encore, de ce fait, suivre plus facilement les inclinaisons du sol naturel et faire des économies dans les travaux.

Les terrassements étant plus près du sol, la quantité d'eau à écouler et à recueillir sera moindre et les fossés eux-mêmes pourront être plus petits, d'où une économie en achats de terrains et en déblais. En même temps, on aura souvent chance d'éviter les roches dures du sous-sol, les travaux se contentant de pénétrer dans la couche toujours plus tendre de la surface. L'établissement de terrassements moins élevés et de tranchées moins profondes permet en même temps d'adopter des talus plus inclinés ; enfin, toutes les surfaces de remblai et de ballast peuvent être réduites parce que les poids à porter étant moindres, demandent moins d'assiette pour être répartis rationnellement.

M. Fairlie, en se basant sur les lignes norwégiennes et admettant que les hauteurs de terrassements soient de $1^m,22$ pour la voie large et de $0^m,91$ pour la voie étroite, évaluait déjà l'économie dans les terrassements à 44 pour 100. C'est là un minimun et les différences sont généralement plus accentuées ; l'économie totale réalisée par la voie étroite dans les terrassements est rarement inférieure à 50 pour 100, même en admettant que la plate-forme ne diffère que de $0^m,30$ d'un type à l'autre.

Mais elle peut atteindre facilement 60 pour 100 et aller même notablement au delà en terrains montagneux. Ainsi, M. Arnoult, dans son travail précité, donne les chiffres suivants pour le même kilomètre de terrassements dans une section accidentée de la ligne d'Anvin à Calais.

Voie de $0^m.75$	rayon minimum de	75 mètres.	Coût kilom.	1,800 fr.
Voie de $1^m,00$	—	100	—	3,400
		130	—	6,700
		150	—	18,000
Voie normale	—	250	—	81,000
		500	—	108,000

En comparant les deux tracés analogues à rayons de 100 et 250 mètres, on a une économie qui dépasse 95 pour 100! C'est la voie de 1 mètre avec rayons de 130 mètres qui a été adoptée réalisant encore une économie de 91,6 pour 100; et si l'on eût adopté la voie de $0^{m},75$, on voit qu'on serait tombé à un chiffre tel qu'on aurait, pour ainsi dire, supprimé cette partie de la dépense.

3° *Ouvrages d'art.* — Pour les ouvrages d'art, ponts, aqueducs, passages supérieurs et inférieurs, etc., il y a également une diminution de largeur comme pour les terrassements. Ainsi, les passages sous rail pour routes et chemins ont une largeur réduite et l'ouverture des passages par-dessous la voie est également diminuée. Les ponceaux, aqueducs, etc., sont moins longs à cause des remblais qui sont plus bas : mais la flexibilité de la voie permet de supprimer un grand nombre de ces ouvrages et de réduire l'importance des autres. En outre, le poids mort étant plus faible à puissance égale sur la petite voie, toutes les parties du matériel de la voie et du matériel roulant peuvent être réduites ; les locomotives, pour satisfaire aux mêmes besoins, peuvent être plus légères. Les ouvrages en maçonnerie ont donc besoin d'avoir des voûtes moins épaisses, les ponts métalliques, des tôles moins fortes, etc., et cet effet est encore accentué par ce fait que, vu la réduction de largeur de la voie, la charge uniformément répartie par mètre courant de poutre est plus faible. Il résulte de toutes ces réductions une économie générale qui n'est jamais inférieure à 50 pour 100.

Résumé pour l'infrastructure. — Il ressort, en somme, de l'examen des trois chapitres constituant l'infrastructure, une économie générale qui n'est jamais inférieure à 30 pour 100, comme l'estime M. Fairlie, mais qui peut atteindre 60 pour 100 et même plus en terrain difficile. On ne peut estimer l'économie moyenne à moins de la moitié ou 50 pour 100, comme le montrent les estimations parallèles de nombre d'exemples connus.

Notons en outre que la flexibilité de la petite voie permet souvent d'éviter un grand nombre de passages délicats comme des terrains ébouleux, glaiseux, etc., qui sont une source permanente de difficultés comme construction et comme entretien. Enfin, dans certains terrains très mouvementés, la voie étroite rendra possible, comme cela est arrivé pour la ligne américano-mexicaine de Denver-Rio-Grande, des chemins qui seraient absolument impraticables autrement.

§ 2. **Superstructure.**— Cette partie de la construction se compose de toutes les installations qui se font sur la plate-forme livrée toute parachevée, à l'exception du matériel roulant. Elle comprend la voie, le matériel fixe et accessoire, les bâtiments de service, halles, remises, dépôts, ateliers.

1° *Voie.* — Les réductions dans les dépenses de la voie sont fort importantes, surtout à cause de la légèreté du matériel et de la grande réduction du poids mort des véhicules; les locomotives porteront de 4 à 6 tonnes par essieu et n'exigeront généralement que des rails d'acier de 12 à 18 kilogrammes par mètre courant, tandis que la voie large la plus économique exige que le poids du mètre de rail soit porté au moins à 25 ou 30 kilogrammes. Il en résulte une économie minimum de 30 pour 100 sur le prix des rails et accessoires, boulons, tréfonds, éclisses, etc., et sur tous les éléments du matériel fixe dont les poids diminuent proportionnellement à celui du rail. Les traverses ont de $1^m,60$ à $1^m,80$ au lieu de $2^m,50$, de longueur, et, supportant un matériel plus léger, peuvent avoir une surface d'appui et une section moindre; elles présentent donc un cube notablement plus faible pour les mêmes conditions de stabilité et de durée; étant, en outre, plus petites sous toutes leurs dimensions, elles entraînent moins de déchets dans leur fabrication, ce qui diminue encore considérablement leur prix; l'économie résultant de ce chapitre est, au minimum, en pratique, de 50 pour 100.

Le ballast est à son tour réduit à cause de la diminution de pression du rail sur les traverses; avec la voie large, il faut au minimum $0^m,22$ de ballast sous celles-ci, tandis qu'un maximum de $0^m,15$ suffit avec la voie étroite; l'économie immédiate est donc de 35 pour 100, qui est encore accrue, par ce fait, que les talus sont plus faibles et qu'avec la voie large et pour répartir des pressions plus fortes, il faudra toujours donner au ballast une largeur plus grande que sur la voie étroite, quoique le règlement du 6 août 1861 admette la même largeur, celle du matériel roulant. En pratique, en effet, les économies réalisées sur le ballast s'élèvent à 45 pour 100.

En combinant les économies réalisées sur les rails, les traverses et le ballast, et eu égard à leurs prix respectifs, on a une réduction du prix d'ensemble s'élevant de 35 à 40 pour 100.

2° *Matériel fixe et accessoire.*— En même temps, les aiguilles, changements, croisements, plaques tournantes, chariots, etc., non seule-

ment sont composés d'éléments plus légers et moins coûteux comme la voie courante : mais, devant servir à un matériel plus petit, avec essieux extrêmes plus rapprochés, tous ces éléments sont beaucoup moins longs en même temps qu'ils sont moins larges par suite de la réduction de la voie. Cette considération a ici plus d'importance que partout ailleurs, car on sait que dans tous les appareils on fait usage de traverses de choix très coûteuses et que le ballast y est soigneusement et particulièrement bourré et entretenu. Les passages à niveau également, exigeront 1/3 en moins de pavage.

Les voies de garage seront moins longues, les ponts bascules seront plus faibles, les installations de réservoirs d'alimentations moins importantes, etc. On comprend donc facilement qu'il résulte de ce chef une économie qui n'est jamais inférieure à 50 pour 100.

3° *Stations. Bâtiments divers.* — Il est de toute évidence que les mêmes simplifications poussées aux dernières limites, peuvent être obtenues dans les bâtiments de services des stations et haltes, avec toutes les largeurs de voies. Aussi n'avons-nous, de ce fait, à compter aucune réduction de dépense.

Mais il n'en est pas de même de tous les bâtiments spéciaux, tels que halles, remises, dépôts, où les voies n'ont qu'un mètre au lieu de $1^m,445$ de large. En même temps, ces bâtiments seront moins longs comme le matériel roulant lui-même. De la réduction en longeur et en largeur de ces constructions, résulte évidemment une diminution sensible dans les dimensions des pièces des fermes des combles, dans la surface de couvertures, par suite, dans l'épaisseur des murs, et jusque dans l'aire préparée du sol. En même temps, l'outillage intérieur est également de dimensions réduites, et partant plus économique. C'est en examinant, en effet, un atelier bien compris de réparation de voie étroite qu'on se rend compte des économies que ce type permet de réaliser dans l'entretien ; toutes les pièces à remuer sont petites et légères ; une simple poulie suffit généralement pour les soulever : le plus souvent on les travaille avec un petit tour à roue et toutes les machines-outils nécessaires sont de même très élémentaires et peu coûteuses.

En rapprochant ces différentes réductions, on arrive à une économie qui est considérable dans les gares importantes, mais qui, dans les plus petites, présentant ce genre de construction, atteint toujours 35 à 40 pour 100. Le général Buell l'estime à 32 pour 100, chiffre que nous

trouvons un peu faible [1]. M. Fairlie porte ce chiffre à 45 pour 100.

Résumé pour la superstructure. — En somme, l'économie réalisée sur ce second chapitre quoique moins importante que celle qu'on obtient sur le premier, est toujours au moins de 35 à 40 pour 100.

§ 3. **Matériel roulant.** — 1° *Véhicules.* — Le grand avantage procuré par la voie étroite dans ce chapitre est une réduction importante du poids mort, comme le démontre la théorie et comme le prouve surtout la pratique. Les voitures et wagons de la petite voie, vu leurs dimensions réduites, ont en effet beaucoup moins besoin que ceux de la voie large, d'organes puissants et lourds pour se porter eux-mêmes.

On peut se rendre compte *à priori* par un calcul très simple de ce fait connu de tous les hommes pratiques. Il suffit pour cela d'admettre que les véhicules de la voie étroite restant de forme entièrement semblable à ceux de la voie large aient les dimensions de tous leurs éléments réduites dans le même rapport que les voies. Les poids des deux wagons seront alors entre eux comme les cubes des dimensions homologues :

$$\frac{p}{P} = \frac{1^m,00^3}{1^m,445^3} = \frac{1}{3} \text{ environ.}$$

Quant aux résistances moléculaires, celle à la flexion, par exemple, qui est la plus importante, et dépend des moments fléchissants, elles varient comme les carrés des dimensions homologues.

$$\frac{r}{R} = \frac{1,00^2}{1,445^2} = \frac{1}{2} \text{ environ.}$$

Le wagon de la petite voie ne pèsera donc que le 1/3 de celui de la grande et pourra porter un chargement c égal à la moitié de celui de ce dernier C; on aura donc :

$$p = \frac{1}{3} P$$

$$c = \frac{1}{2} C$$

1. Général Buell, *Rapport au comité de direction du chemin de fer du Texas-Pacific.*

d'où en divisant membre à membre :

$$\frac{p}{c} = \frac{2}{3}\,\frac{P}{C} = 0{,}666\,\frac{P}{C};$$

donc le rapport du poids mort au poids utile pour la voie étroite est les 2/3 du même rapport pour la voie large. En pratique, à la vérité, la réduction supposée plus haut n'a pas lieu ainsi également pour toutes les pièces composant un véhicule. On s'en rapproche beaucoup dans les wagons plates-formes et tombereaux; on s'en éloigne dans les wagons fermés, et surtout dans les voitures à voyageurs. On peut donc admettre que le rapport précédent, au lieu d'être $0^{m},66$ est $0^{m},7$; dans tous les cas, ce chiffre n'atteint certainement jamais $0^{m},8$. Mais, en pratique, cette économie de poids mort est beaucoup plus considérable à cause de la meilleure utilisation du matériel dans l'exploitation courante ; nous reviendrons plus loin sur ce point important.

Le matériel de la voie étroite peut être en outre beaucoup mieux proportionné que celui de la voie large, car la largeur admise généralement aujourd'hui pour avoir une stabilité suffisante est de deux fois et demie la largeur de la voie sauf les saillies extérieures, telles que marchepieds, etc.. On peut donc ainsi, avec une voie de 1 mètre, avoir un matériel de $2^{m},50$ qui présente aisément à $0^{m},45$ par place (ordonnance de police de 1846), cinq places de front comme celui des grandes lignes. Pour utiliser la puissance de la voie large et profiter de cette faculté, il faudrait dans ce dernier cas donner au matériel une largeur de $3^{m},6125$ qui rendrait les wagons hors de toute proportion avec les besoins du trafic et presque impossibles à manier, en même temps qu'ils exigeraient des gabarits d'ouvrages d'art tout à fait ridicules. Avec la voie de 1 mètre, en particulier, on paraît avoir le maximum de puissance pratique combiné avec le minimum de poids mort ; on a donc par suite ainsi le meilleur rendement. En somme, sur la voie large, il est impossible d'utiliser complètement la grande base que fournissent les rails : ainsi, certaines lignes exceptionnelles des Indes, qui présentent une voie de $1^{m},68$, n'ont qu'un matériel de $2^{m},60$ de largeur, c'est-à-dire un peu moins que ce qu'on emploie déjà souvent sur la voie de $1^{m},445$ et $0^{m},10$ seulement de plus que ce que permettrait d'adopter la voie de 1 mètre.

Mais, en outre, il est facile de se rendre compte que, pour une voie

dépassant 1 mètre de largeur, il devient impossible de construire des wagons présentant les bonnes proportions voulues pour permettre un roulement facile allié à une stabilité suffisante.

Pour obtenir en effet un matériel sûr, l'empâtement ou écartement extrême des essieux doit être de deux fois environ la largeur de la voie; on peut employer à la rigueur une plus grande dimension, mais cela augmente immédiatement les résistances dans les courbes ; avec une plus petite il y a propension au déraillement. Cette proportion obligatoire est un des motifs qui empêchent le franchissement facile des courbes de petits rayons sur la voie large, tandis que la voie de 1 mètre, exigeant un empâtement de 2 mètres environ, permettra le passage du matériel dans des courbes de 60 mètres. En prenant donc dans les projets un minimum en voie courante de 100 mètres, comme on a coutume de le faire en France, on se trouve dans de bonnes conditions. Et si, comme on l'a proposé quelquefois, des systèmes perfectionnés permettent de réduire les difficultés du passage en courbe, ces procédés appliqués à la petite voie lui conserveront toujours intégralement ses avantages sur la grande.

En même temps, ce long empâtement qu'on est obligé de donner au matériel de la grande voie pour obtenir la stabilité strictement obligatoire, force le wagon à dépasser les dimensions nécessaires pour transporter économiquement le chargement; la juste proportion voulue est beaucoup mieux observée avec la voie de 1 mètre. De même que le grand matériel présentant des pièces ayant de plus grandes dimensions, ces dernières doivent nécessairement avoir des sections plus fortes pour que le véhicule se porte normalement lui-même. Et certaines de ces pièces, comme les essieux calés sur les roues, ont besoin d'une section qui va en augmentant dans une proportion encore plus grande que celle qui est exigée par la résistance à la flexion due à l'augmentation de longueur : cela tient aux efforts spéciaux de torsion auxquels ils sont soumis.

Mais, c'est surtout dans la pratique courante de l'exploitation que l'on constate la réduction de poids mort qu'entraîne la voie étroite. Tous les inconvénients théoriques précédents sont notablement aggravés par ce fait que les grands wagons, vu leur volume considérable de 18 à 20 mètres cubes et les besoins multiples de l'exploitation, partent rarement chargés. Ainsi, en Angleterre, où la moyenne des wagons à marchandises peut porter 8 tonnes, la statistique a démontré

que la moyenne des chargements était en réalité de 1 tonne; dans le matériel à voyageurs, la proportion est partout plus considérable, car les places occupées dans les grandes lignes représentent en effet généralement à peine 25 pour 100 des places offertes. Sur les chemins français, où l'exploitation est faite beaucoup plus avantageusement pour les compagnies à cause des monopoles dont elles jouissent, la proportion est un peu moins grande pour le matériel à marchandises. On remorque 4 tonnes de poids mort pour un poids utile; mais elle est presque la même pour les voitures à voyageurs.

Ainsi, il arrive fréquemment dans l'exploitation courante qu'un train composé de trente wagons, pesant chacun 5 tonnes et pouvant porter 10 tonnes, est obligé de partir avec un chargement de 30 tonnes seulement. Le même transport pourrait être efficacement effectué par trente wagons à voie réduite prenant chacun 2 tonnes et pouvant porter 6 tonnes, avec une économie de près de 100 tonnes sur le poids mort.

Remarquons d'ailleurs que le faible transport effectué par un wagon sur la voie large est un résultat des nécessités du service d'exploitation, des échanges nécessaires de matériel, etc., qui rendent impossible, en effet, de garder toujours un wagon à destination d'une gare jusqu'à chargement complet. Mais le travail effectué par chaque wagon n'a aucune relation avec le trafic général de la ligne. Lorsque ce trafic augmente, il faut simplement plus de matériel, mais la charge moyenne de chaque wagon ne change pas.

En résumé, un wagon bien proportionné pour la voie large est trop volumineux, trop lourd et trop cher pour le travail qu'il est appelé à effectuer dans les conditions ordinaires. Les grands wagons en effet ne portent au maximum que le double de leur poids, tandis que ceux de la petite voie portent toujours le triple. Sur la voie étroite, au contraire, le matériel roulant peut être construit dans des proportions beaucoup mieux en rapport avec le chargement qu'il doit porter. Mais, en outre, ces derniers seront beaucoup mieux utilisés à cause de la subdivision qu'ils entraînent dans les charges; il en résulte donc, de fait, en pratique, une réduction de poids mort véritablement énorme et qui dépasse de beaucoup les avantages théoriques reconnus plus haut; comme conséquence au point de vue des frais de premier établissement on aura une économie correspondante dans l'acquisition du matériel roulant en même temps que des réductions dans les frais d'entretien et de manœuvres de gares.

Certains ingénieurs se sont préoccupés de l'avantage qu'il y aurait à avoir avec la petite voie des wagons pouvant porter le chargement de la grande. Nous pensons que le principe n'est pas juste en général et que, sur la voie étroite, on doit au contraire toujours avoir un matériel de peu de contenance, afin de le transporter toujours plein. L'idée ne peut être exacte que pour certaines exploitations spéciales, une mine de houille, par exemple, qui fournit journellement un chargement connu et sur lequel on peut compter. Tel est le cas sur les lignes d'Hermes à Beaumont, d'Anvin à Calais.

Même à largeur de voie égale, le matériel de la petite ligne sera toujours localisé dans un rayon très voisin de son point de départ ; les grands réseaux voisins s'opposent en effet à la circulation trop éloignée du matériel de la petite compagnie, afin de s'éviter des recherches pénibles dans les gares et des retours à vide très coûteux.

Inversement, le matériel d'une grande compagnie peut circuler sur une petite ligne, mais avec grand renfort de poids mort et en exigeant une forte redevance qu'il n'est jamais intelligent de payer. A moins de variations très considérables dans le trafic et qui empêchent de prévoir rigoureusement la quantité de matériel nécessaire à la petite ligne ou qui laisserait la plupart du temps un excès de matériel inoccupé, la pratique a démontré que cet échange de matériel est très préjudiciable aux petites compagnies.

Le matériel de la petite exploitation a en outre l'avantage d'être plus léger. Ainsi les wagons à houille d'Hermes à Beaumont pèsent 3^{t},300 et portent 10 tonnes. On peut se rapprocher de ces chiffres sur la voie large, mais alors le matériel est trop léger et trop fragile, son entretien devient dispendieux, car il ne supporte pas les manœuvres de gares. Un matériel ainsi construit ne devra jamais être envoyé sur une ligne voisine à matériel plus fort ; on y perd donc tous les avantages de l'unité de voie.

Pour ce qui concerne plus spécialement les voitures à voyageurs et les craintes qui ont été quelquefois exprimées à leur égard, nous ne saurions trop affirmer qu'elles présentent toutes les conditions de stabilité et de sécurité voulues et peuvent loger spacieusement les voyageurs. La seule précaution à prendre dans leur construction, c'est de diminuer le diamètre des roues afin d'abaisser leur centre de gravité ; cela ne présente aucun inconvénient sur ces lignes secondaires, où la vitesse des trains est toujours forcément assez faible, et où, par con-

séquent, l'on n'a pas à redouter de frottements exagérés, d'échauffements de fusées, etc.

Avec la voie de 1 mètre en particulier, pour laquelle le matériel roulant peut avoir 2^{m},80 de largeur, toutes saillies comprises, et 2^{m},50 de largeur de caisse comme nous l'avons vu plus haut, on peut, tout en conservant une stabilité parfaite, placer commodément cinq personnes de front. Dans ces conditions, nous garantissons qu'il est impossible au voyageur de s'apercevoir s'il voyage sur une voie large ou sur une voie étroite.

Terminons ce qui est relatif aux véhicules de la voie étroite en appelant l'attention des ingénieurs sur la nécessité d'adopter un tampon central unique au lieu de deux tampons d'angle, comme cela se pratique dans le matériel de la grande voie. C'est le système adopté sur les lignes scandinaves, sur celles d'Anvin à Calais, d'Hermes à Beaumont, etc. Nous croyons ce perfectionnement absolument indispensable malgré les quelques inconvénients qu'il présente, sur toutes les lignes à voie étroite à partir de 1 mètre. Sans cela, dans le passage en courbes de petits rayons, il arrive que deux tampons seulement sur quatre sont en contact et que le véhicule risque fort d'être projeté hors de la voie[1]. Nous ne nous inquiétons pas de l'inconvénient qui résulterait de l'accouplement dans le même train de wagons d'un type différent provenant d'une compagnie voisine, car ces petites compagnies n'auront jamais assez de matériel pour envoyer leurs wagons se promener sur les réseaux voisins, même avec l'unité de voie; nous reviendrons d'ailleurs plus loin en détail sur cette question d'échange de matériel.

Comme conclusion de tout ce qui précède, l'économie réalisée sur l'acquisition du matériel roulant est au minimum de 40 pour 100. M. Fairlie l'estime de 50 à 55 pour 100 en général.

2° *Locomotives.* — La réduction seule de la voie entraîne une diminution immédiate de 10 à 15 pour 100 dans le poids d'une locomotive nécessaire pour remorquer la même charge utile sur les deux voies. Il suffit, pour le démontrer, de prouver qu'il existe la même différence entre le poids total des trains à remorquer pour le même poids utile.

Or, considérons d'abord la voie large, soit P le poids total d'un train

1. M. Auguste Moreau, *le Matériel roulant des chemins de fer à l'Exposition de 1878*, Lacroix, éditeur.

se composant d'une certaine charge utile U et d'un poids mort M, de sorte que :

$$P = M + U.$$

En pratique on a sensiblement pour les trains mixtes, seuls admissibles sur ces petites exploitations :

$$M = U$$

donc $$P = 2\,U.$$

Soient P′ et M′ les quantités correspondantes sur la voie étroite : on a de même, en conservant le même chargement utile U :

$$P' = M' + U.$$

Mais nous avons vu précédemment que, pour les wagons, on a entre les rapports des poids morts aux poids utiles la relation :

$$\frac{M'}{U} = 0{,}7\,\frac{M}{U}\,;$$

Ou ici : $$M' = 0{,}7\,M = 0{,}7\,U.$$

Donc, substituant dans la valeur de P′ :

$$P' = 0{,}7\,U + U = 1{,}7\,U.$$

Or, $$P = 2\,U\,;$$

donc $$\frac{P'}{P} = \frac{1{,}7}{2} = 0{,}85,$$

ou au maximum 0,90, comme nous l'annoncions ci-dessus.

Mais, eu égard aux besoins de l'exploitation et à la différence bien plus considérable de poids mort des trains que l'on constate en pratique, les résultats favorables à la voie étroite sont considérablement accentués et l'on réalise en effet sur le chapitre des locomotives une économie minimum de 20 à 30 pour 100.

On conçoit d'ailleurs *à priori* que sur la voie large, à égalité de poids par essieu, une machine doit être moins puissante que sur la voie étroite. Cela tient à l'augmentation du poids de certaines pièces

inutiles dans les grandes machines, pièces qui n'ajoutent rien aux éléments générateurs de la puissance de l'engin, tout en absorbant une partie de la force pour leur propre traction. Tels sont par exemple les essieux, les différentes pièces du châssis, longerons, traverses, et par suite leurs attaches qui, ayant des dimensions plus grandes à cause de la plus grande largeur de la voie, doivent avoir des sections plus fortes. Il en sera de même de tous les accessoires tels que plaques de garde, boîtes à graisse, roues, etc., tout cela fournira un excédent de poids qui, à adhérence égale, serait beaucoup mieux réparti sur les pièces utiles et qui engendrent le travail de la machine, comme le corps de chaudière, les cylindres, etc. Il en résultera encore que les rails pourront être plus légers avec la voie étroite, et cela dans une proportion plus forte que ne semble le permettre au premier abord la réduction du poids de la machine entraînée par la diminution importante du poids mort des trains. En un mot, si les deux machines peuvent produire le même travail, celle de la voie étroite pourra être plus légère, ainsi que le rail qui la supporte. Si les locomotives présentent le même poids, il en sera de même des rails dont la force dépend toujours du nombre de tonnes à porter par essieu. Mais alors, la machine de la voie étroite aura une puissance plus grande et, à vitesse égale, pourra remorquer des trains plus lourds ou les mêmes trains avec une vitesse plus grande. Rappelons d'ailleurs ce que nous avons dit plus haut que l'on peut employer des machines puissantes avec la voie la plus étroite, comme cela s'est présenté au Festiniog pour les machines Fairlie. La crainte que certains ingénieurs ont témoignée sous ce rapport est donc absolument chimérique.

3° *Du poids mort dans les trains.* — Nous signalions précédemment la différence considérable et tout à l'avantage de la voie étroite que présente le poids mort dans les trains. Peu de personnes en effet se rendent compte de cette énorme quantité de matière inutile qu'il faut transporter en pratique pour remorquer une charge utile donnée. Sur les chemins de fer français, le poids mort réellement transporté dépasse de beaucoup le poids mort théorique dû au poids propre du véhicule par voyageur ou par tonne. On consultera utilement à ce sujet les travaux de MM. Marché, Alfred Léger, Fousset, etc., présentés à la Société des Ingénieurs civils de France. Cela tient, avons-nous dit, à des causes multiples, à la faiblesse du trafic qui exige la mise en mouvement de wagons incomplètement chargés, aux délais de livraison,

qui ne permettent pas non plus que ce chargement soit toujours complet, à la nécessité de ne pas trop dégarnir certaines gares pour en encombrer d'autres, aux obligations de service qui exigent des retours de wagons vides ou très incomplètement chargés, etc.

C'est ainsi qu'en Angleterre on met en mouvement 7 à 8 tonnes de matériel pour porter une tonne; en France, comme nous l'avons dit, cette proportion est moindre, mais s'élève encore à 4 tonnes pour une de poids utile.

Pour les voyageurs, grâce aux sujétions spéciales de ce genre de transports et au nombre restreint de places occupées par rapport aux places offertes, la proportion du poids mort au poids utile atteint trente contre un, en Angleterre. En France, le poids à transporter par tête est beaucoup plus faible, mais atteint encore 740 kilogrammes en pratique, tandis qu'en théorie il ne devrait pas dépasser 235 kilogrammes en première classe et 130 kilogrammes en troisième classe.

Dans le train le mieux utilisé, le poids mort atteint presque le poids utile; la proportion est de $\frac{47}{100}$ avec le matériel ordinaire; avec le matériel américain, beaucoup moins rationnel sous ce rapport surtout, cette proportion atteint $\frac{75}{100}$. On voit que ces chiffres sont énormes, quand on songe que le poids mort est en général de 30 pour 100 sur les voies de terre ordinaires et de 40 à 45 pour 100 sur les voies d'eau.

Les chemins de fer, sous ce rapport, n'ont donc réalisé aucun progrès, mais, au contraire, ont aggravé la situation : leur seul grand avantage est la rapidité et la sécurité du service.

En outre, le poids mort sur voies ferrées est encore sensiblement accru par cette considération que, vu la vitesse à laquelle sont astreints les véhicules et les nombreux chocs auxquels ils sont exposés dans les différentes manœuvres, ils sont généralement d'une fabrication beaucoup plus robuste qu'il ne serait nécessaire en principe. On comprend que, sous ce rapport encore, le petit matériel présentant une grande réduction de force vive, offre moins de chance de ruptures et d'avaries. On sait partout en effet qu'en exploitation, le poids mort d'un matériel est une cause déterminante de sa détérioration.

Même pour les voyageurs, d'ailleurs, la voie étroite nécessite une moindre proportion de poids mort par tête, sans tenir compte de ce fait que les voitures y sont toujours mieux remplies que dans une grande exploitation. Ainsi, d'après la loi du 15 juillet 1845 et l'ordonnance du 15 novembre 1846, déjà citées, chaque voyageur doit avoir au minimum

une place de $0^m,45$ de large sur $0^m,65$ de profondeur; avec ces données, la voiture de troisième classe à 5 compartiments de 10 places pèse ordinairement 6,500 kilogrammes, soit 130 kilogrammes par tête. Avec la voie de 1 mètre, on emploiera une voiture de 4 compartiments seulement qui, pour 40 voyageurs pèsera au maximum 4,500 kilogrammes, soit $112^k,5$ par tête.

Nous ne terminerons pas ce chapitre relatif au matériel roulant sans faire une dernière remarque fort importante pour les chemins de fer que l'on construit aux colonies, par exemple, et qui font venir tout leur matériel de France ou d'Europe. Comme les petits véhicules présentent un poids mort sensiblement plus faible que les grands, on voit quel intérêt peut présenter leur adoption, quand tout doit être grevé de frais de transports spéciaux pour arriver à destination.

§ 4. **Résumé et conclusion.** — D'après les considérations et les chiffres qui précèdent, on comprend que le type réduit doit entraîner dans l'ensemble des économies importantes. Le rapprochement de ces chiffres, eu égard à leur importance relative, donne au profit de la voie de 1 mètre une différence minimum de 35 pour 100, c'est-à-dire *que la réduction de dépense est au minimum la même que celle de la largeur de la voie.*

Mais, en terrain accidenté, cette différence dépasse toujours 50 pour 100 et peut atteindre 75 et même aller au delà.

C'est en effet ce que prouve chaque jour la pratique. Une ligne à voie de 1 mètre bien conditionnée coûtera en terrain ordinaire rarement moins de 50,000 à 60,000 francs le kilomètre, tandis que la même, à voie large, exigerait dans le terrain le plus facile approximativement 100,000 francs. Nous savons bien que ce dernier chiffre a été contesté, mais nous affirmons son exactitude, que nous démontrerons d'ailleurs plus loin dans un chapitre spécial.

Mais, si le terrain est accidenté, les différences deviennent tout de suite formidables et varient pour ainsi dire du tout à rien. Quelques exemples préciseront les idées.

Le chemin de fer d'Anvin à Calais à voie de 1 mètre a coûté 77,000 francs le kilomètre et était estimé à 200,000 francs à voie large, établie le plus économiquement possible. Celui d'Hermes à Beaumont, évalué à voie normale à 230,000 francs le kilomètre, n'est revenu, avec la voie de 1 mètre, également qu'à 77,000 francs.

Les chemins de fer de la Corse, actuellement construits par la Société des chemins de fer départementaux, eussent, d'après M. l'inspecteur général Delestrac, coûté trois ou quatre fois plus à voie large qu'avec la voie de 1 mètre, qui a été adoptée.

M. Samuel Bowles, l'ingénieur du chemin de fer du Denver-Rio-Grande, estime, dans son rapport sur cette ligne, que la voie étroite, tout en satisfaisant aux mêmes besoins, ne coûte que les 3/5 du prix de la voie large.

La ligne à voie étroite de Livonie (Russie) à voie de 1^m,067, a réalisé une économie de 40 pour 100 sur la voie large, etc., etc.

§ 5. **Exploitation et entretien.** — Les économies réalisées par l'usage de la voie étroite sur les frais d'exploitation sont également très importants. Cela se traduit comme précédemment sur tous les chapitres.

Ainsi, les frais d'entretien et de renouvellement des pièces du matériel, qui ont toutes moins d'importance, sont naturellement réduits dans la proportion de leur prix de premier établissement, l'entretien étant une fraction déterminée de ce prix; il en est de même pour les terrassements, ouvrages d'art, bâtiments spéciaux, etc., qui présentent moins de surfaces, de cube, ou de poids, et exigent moins de frais de surveillance courante.

Les locomotives étant plus légères, consomment moins de charbon par kilomètre, cette consommation étant à très peu près proportionnelle au poids du moteur. On estime en général cette consommation à 5 kilogrammes au lieu de 10 kilogrammes en moyenne exigés par la voie large. Il en résulte également une diminution d'huile, de graisse, de chiffons; d'étoupes, etc.

D'une manière générale d'ailleurs, les manutentions de ce matériel plus faible, depuis les rails, traverses, etc., jusqu'aux wagons, exigent moins de main-d'œuvre et, par conséquent, sont moins coûteuses.

En outre, par suite de la réduction du poids mort et de la bonne subdivision des charges, la pression exercée sur le rail à chargement égal est moindre, ce qui diminue l'usure des rails et de tous les appareils de la voie. Cette diminution d'effort diminue encore le glissement de la roue extérieure qui accompagne le passage en courbe; il en résulte donc une usure moindre ou l'augmentation de la faculté, avec la petite voie, d'employer des courbes de plus petit rayon.

La facilité de manœuvres d'un matériel plus léger fait que celles-ci sont moins brutales, moins dangereuses, et par suite toujours plus économiques. L'augmentation de poids mort est, en effet, une des causes de détérioration qui augmentent le plus les frais d'entretien du matériel roulant, et cela spécialement quand il se fait des échanges de matériel avec les compagnies voisines et qu'on a à redouter des retours à vide.

On aura ainsi sur l'exploitation une économie de 30 à 50 pour 100 selon les cas. Ainsi les chemins de fer d'intérêt local à voie de 1 mètre à exploitation chargée comme ceux d'Anvin à Calais et d'Hermes à Beaumont ont des frais s'élevant à 3,000 ou 3,500 francs par kilomètre. Les lignes d'intérêt local à voie large de la région du nord, qui sont dans des conditions identiques et présentent une exploitation également assez nourrie, reviennent à environ 5,000 francs.

Dans la limite de trois à quatre trains par jour dans chaque sens, comme cela a généralement lieu, on peut toujours compter que la voie étroite fournira une réduction de dépense de 1,000 à 2,000 francs par kilomètre.

Ainsi, et c'est là un point très important, l'adoption de la voie étroite ne donne pas seulement une réduction dans les frais de premier établissement mais entraîne encore pour les frais d'exploitation une diminution minimum qui atteint, comme pour la construction, *au moins la réduction de largeur de la voie.*

Nous terminerons par quelques remarques au point de vue de l'exploitation proprement dite. Il est clair qu'elle doit se faire d'une façon tout autre que celle des grandes lignes ; elle doit rester commerciale et industrielle et éviter à tout prix, comme nous en avons malheureusement trop souvent constaté la tendance, de devenir *administrative* en cherchant à jouer à la grande compagnie.

Il faudra d'ailleurs donner au public toutes facilités : arrêter les trains, même entre les stations à certains endroits très fréquentés (mais le plus rarement possible au signal des passants, ce qui ruine le matériel) ; placer des billets chez les commerçants et hôteliers du pays ; simplifier les classes de voyageurs et de marchandises et, par suite, la fabrication des billets, la comptabilité, etc.

V

Inconvénients de la voie étroite : le transbordement, etc.

L'objection à laquelle les adversaires de la voie étroite attachent le plus d'importance est, sans contredit, celle du transbordement obligatoire que l'on doit faire subir à toutes les marchandises à la gare terminus de la petite ligne sur le grand réseau. Examinons de près la valeur de cet obstacle et voyons impartialement s'il est aussi insurmontable qu'on veut bien le dire.

Le transbordement présente au premier abord trois inconvénients bien caractérisés : ce sont des frais supplémentaires, un retard et des déchets dans certaines marchandises.

1° Pour ce qui est des frais, le transbordement constitue une charge beaucoup moins importante qu'un chargement ou déchargement ordinaire dont on s'inquiète généralement fort peu et pour lequel les grandes compagnies perçoivent l'ancien droit de 0 fr. 40 par tonne et de 0 fr. 30 pour les marchandises transportées par wagons complets de 4,000 kilogs Ce prix élevé est dû à ce que ces compagnies font payer la même redevance, quel que soit le mode employé pour le chargement ou le déchargement, mains d'hommes ou procédés mécaniques perfectionnés. — Mais, en réalité, cette somme est rapidement descendue pour le transbordement proprement dit à 0 fr. 20 comme en Suède, et même à 0 fr. 15 comme sur les lignes belges. Dès 1868, notre collègue M. Regnard, dans une intéressante communication sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, exposait que les frais de transbordement à la station *terminus* de Lockeren, revenaient à 0 fr. 31 par tonne quoi qu'il fût fait de la façon la plus primitive. Sur un petit chemin de fer industriel belge à voie de 0^{m},60, ce prix était déjà tombé à 0 fr. 15 ou 0 fr. 18, que M. Regnard trouve beaucoup plus près de la vérité. A la station de Salles-la-Source du chemin de fer de Mondalazac, ce prix s'élève à 0 fr. 17.

En fait, les frais de transbordement ne doivent pas dépasser aujourd'hui 0 fr. 15 par tonne ; il suffit pour cela de faire usage de la grue ; mais ils peuvent se réduire à un chiffre beaucoup plus bas et ne pas atteindre même 0 fr. 05 si, comme au Festiniog, à Montmorency, à Commentry, etc., les deux voies sont établies parallèlement à des

niveaux différents et de manière que l'échange se fasse par un simple mouvement de bascule des petits wagons dans les grands ou par tout autre moyen simple.

Dans les plus mauvaises conditions, le transbordement représente donc un allongement de parcours de 2 kilomètres environ sur la petite ligne ; son importance, appréciable pour un très court trajet, devient insensible dès que le voyage atteint seulement une trentaine de kilomètres et tout à fait nulle pour cinquante. Si, comme on doit toujours le supposer aujourd'hui, la gare *terminus* est bien outillée au moyen de quais à différentes hauteurs, de grues, de couloirs, de plateaux à bascules, de poulies, etc., ces frais deviennent, dans tous les cas, absolument négligeables.

2° Le retard est absolument nul, car toutes les fois qu'une marchandise passe en transit d'une compagnie sur une autre, les délais de transport sont réglementairement augmentés d'*un jour ;* or, le mouvement des marchandises sur ces petites lignes n'est malheureusement jamais assez important pour que tous les transbordements ne puissent être largement effectués dans les vingt-quatre heures.

3° Quant aux déchets, ils ne peuvent être mis à la charge de la petite voie que pour les transports qui arrivent par wagons complets puisque tous les autres chargements sont nécessairement transbordés à tout embranchement même avec l'unité de voie. Or, les wagons complets sont presque tous chargés de matières de peu de valeur, telles que houilles, bois, pierres, chaux, métaux, fûts, sacs, caisses, etc., sur lesquelles le déchet est le plus souvent nul et n'a quelque importance que pour celles de ces matières qui se transportent en vrac comme les houilles. On voit donc, en somme, que ces déchets eux-mêmes sont à peu près nuls et nous reconnaissons en effet que ce n'est pas à cet article que les adversaires de la voie étroite attachent le plus d'importance.

En résumé, les divers inconvénients du transbordement sont théoriquement bien minimes et le plus souvent nuls en pratique.

Mais le transbordement a, en réalité, encore beaucoup moins d'importance qu'on ne le suppose par suite de ce fait, que le plus souvent avec la même voie, cette opération se ferait quand même.

Supposons, en effet, que la ligne secondaire soit construite à voie large, comme le chemin de fer d'intérêt général, sur lequel elle vient se relier. Nous allons démontrer que le transbordement des marchandises serait encore une chose indispensable dans plus de 4/5 des cas.

En effet, vu le faible trafic de la ligne, et pour utiliser le mieux possible le matériel, on ne peut consacrer un wagon entier à destination de chaque gare du grand réseau ; une gare de la petite ligne, charge donc chacun de ses véhicules pour toutes les destinations possibles de la grande ; chaque wagon du train contient donc des marchandises à destination d'un nombre variable de gares du grand réseau situées indistinctement des deux côtés du raccordement. En ce dernier point, un triage devient donc nécessaire et le transbordement une chose obligatoire quelle que soit la largeur de la voie.

Le plus souvent même, ces petites exploitations sont desservies par des trains mixtes et les expéditions des gares sont si minimes, qu'elles font toutes leurs chargements dans un même wagon collecteur, dont on opère forcément le triage à l'arrivée ; les mêmes nécessités s'imposaient absolument si les deux lignes avaient la même voie.

En somme, l'adoption de la voie étroite n'augmente pas de 20 pour 100 l'importance du transbordement lorsque le trafic présente une certaine valeur ; sur les lignes à faibles recettes, les seules qui nous occupent ici, cette influence est à peu près nulle.

Le fait se présente d'ailleurs chez une même compagnie ayant naturellement sur tout son réseau la même largeur de voie et le même matériel et qui transborde pour les seuls besoins du service, au moins les 3/4 de ses marchandises ; sur certaines d'entre elles, comme le Nord, par exemple, ce chiffre atteint 80 pour 100. Ceux qui en douteraient peuvent utilement consulter à cet égard les ingénieurs d'exploitation que nous n'avons jamais vu écouter l'objection du transbordement sans sourire. Cela tient à des causes multiples et aux besoins divers du service d'exploitation ; d'abord, à tous les embranchements, on est bien obligé de transborder les voyageurs avec leurs bagages ; on en fait autant de toutes les marchandises qui n'arrivent pas par wagons complets afin de ne pas remorquer des trains presque vides et d'éviter le poids mort.

Mais, en outre, vu la nécessité de s'opposer à une émigration exagérée du matériel roulant et l'impossibilité de dégarnir certaines gares pour en encombrer d'autres, le transbordement est encore la règle presque générale pour les wagons complets à tous les embranchements. Aux gares de transit entre deux compagnies ayant la même largeur de voie, les mêmes motifs existent et se trouvent accentués : le transbordement est toujours effectué pour les charges incomplètes et pour

les 3/4 des marchandises de transit arrivant par wagons pleins.

L'échange de matériel entre deux compagnies n'a d'ailleurs lieu que d'après des traités de réciprocité qui seraient au grand désavantage de la ligne à faible parcours où le matériel est très limité. Cette opération exigerait de celle-ci, en effet, pour se faire couramment et simplement pour la commodité des échanges, un matériel considérable dont la plus grande partie serait à chaque instant inutilisée et improductive. Et, si, d'un autre côté, la petite compagnie n'a que le matériel qui lui est strictement nécessaire, ce qui est partout le cas, comment admettre qu'elle ira semer ses wagons sur toutes les parties du territoire alors qu'elle-même en manquera et sera obligée d'en louer ?

Enfin, et même si la circulation des wagons de la petite ligne peut se faire sur la grande, celle-ci n'est jamais forcée, toutes les fois que la stagnation dans les transports laisse à sa disposition un excédent de matériel, d'accepter les wagons de sa voisine pour lesquels elle aurait des frais de location à payer. Elle ordonne alors d'office le transbordement. Quant à la préoccupation inverse de voir la petite compagnie manquer de wagons et être obligée d'en emprunter à sa voisine, elle ne nous paraît pas digne d'arrêter sérieusement l'attention : la ligne d'intérêt local, vu son faible trafic et sauf les cas très rares, aura déjà bien assez de mal à remplir ses propres wagons, sans aller chez les autres chercher du matériel supplémentaire : tout traité de réciprocité sera donc pour elle une inutilité ou une duperie.

A un autre point de vue, lorsqu'il s'agit de grands parcours exécutés sur les réseaux de diverses compagnies, le matériel a tellement à souffrir de cette circulation entre des mains étrangères et des retours à vide, que le transbordement peut devenir *une véritable économie*. Les avaries auxquelles est exposé le matériel pendant la route ont été, en effet, évaluées, et coûtent environ *dix fois plus* que les divers transbordements nécessaires dans le cas où chaque compagnie conserve son matériel.

Le transbordement est une objection absolument puérile : cela est tellement vrai que sur certaines lignes, comme Mamers à Saint-Calais, tout a été prévu à l'origine et cela d'une façon fort coûteuse, pour éviter cet inconvénient à la gare de Connéré sur la ligne de Paris au Mans. Malgré cela, dans la pratique et pour les seuls besoins de l'exploitation on a dû se résoudre à transborder les 3/4 du trafic !

On voit, en résumé, que ceux qui défendent la voie normale, com-

mettent toujours la même erreur qui consiste à comparer les chemins des derniers réseaux à des lignes encombrées de trafic. Cette erreur était admissible il y a vingt ans peut-être, mais franchement, aujourd'hui, nous sommes absolument fixés sur ce point et n'avons aucune illusion à conserver à cet égard. Ce n'est donc pas le besoin de matériel supplémentaire qui se fera jamais sentir sur ces petites lignes : fasse le ciel que l'on utilise seulement d'une manière à peu près convenable celui qui doit être prévu à l'avant-projet eu égard au trafic présumé. Or, pour l'estimation du trafic immédiat et futur de ces lignes généralement agricoles, nous possédons aujourd'hui des méthodes certaines, et si l'on se trompe quelquefois dans ces évaluations, c'est toujours en trop ; il nous est impossible de retrouver dans nos souvenirs l'exemple d'une ligne dont on ait estimé à un chiffre trop faible le trafic probable.

La chose est assez comique, en effet ; la plupart de ces lignes où l'on voit les intéressés et quelquefois des ingénieurs s'insurger contre les charges prétendues écrasantes du transbordement, sont précisément des lignes à trafic purement local et où il n'y a absolument rien à transborder ! Dans tous les cas, nous le répétons, le transbordement se réduit à une augmentation de dépense bien faible et qui ne grève jamais la marchandise de façon à atténuer les avantages du transport économique que produit le chemin de fer, sans parler de la rapidité et de la sécurité du service.

Mais cet inconvénient fût-il beaucoup plus grave qu'il ne devrait pas, à notre avis, entraîner le rejet des voies étroites. Qu'importe, en effet, pour une région pauvre ou très accidentée et qui ne peut espérer faire vivre un chemin de fer ordinaire, de payer quelques frais supplémentaires pour pouvoir transporter ses marchandises sur une voie ferrée, fût-elle réduite, pourvu qu'elle soit suffisante, si les économies réalisées de ce fait sur les transports ordinaires par les routes et chemins sont beaucoup plus importantes que les quelques frais résultant de la rupture de charge ?

Un exemple fixera les idées.

La ligne d'Anvin à Calais, à la voie d'un mètre, présente un développement de 94 kilomètres qui ont été étudiés avec soin et comparativement avec la voie normale de $1^{m},445$. Elle coûtait, par kilomètre, comme nous l'avons déjà vu précédemment, 200,000 francs dans le premier cas et elle est revenue à 77,000 dans le second, pré-

sentant ainsi une différence de 11,750,000 francs en faveur de la voie étroite. On s'arrêta naturellement à cette dernière solution, quoi qu'elle exigeât le transbordement d'environ 70,000 tonnes par an au prix de 0 fr. 20 la tonne. On débourse bien de ce chef 14,000 francs par an représentant l'intérêt d'un capital de 280,000 francs, mais on économise 58,750 francs d'intérêt annuel, rien que par la réduction du prix de premier établissement. — Encore existe-t-il peu de lignes analogues à celle-là, où il arrive des trains complets de houille et où le transbordement présente une importance aussi considérable.

Une autre objection que soulèvent les adversaires de la voie étroite est que si le trafic devenait important dans l'avenir, on pourrait regretter l'adoption de la voie réduite.

Nous avons déjà expliqué qu'il n'*y aurait nullement à le regretter dans les pays neufs* où la voie étroite constitue pendant longtemps la seule solution possible. Quant aux autres, pour le réseau français d'intérêt local, par exemple, qui est condamné à être à peu près exclusivement agricole, l'*expérience permet à coup sûr de savoir si le trafic deviendra réellement important*. Nous répétons que ce cas sera bien rare, mais s'il se présente, on suivra l'exemple déjà cité du *Festiniog* qui suffit à un trafic de 35,000 francs par kilomètre avec une voie de 0 ^{m},60. Peut-on espérer que les lignes secondaires, en France, atteindront jamais ce chiffre ? Il n'en est pas moins vrai que le trafic a augmenté progressivement depuis la fondation (1832) sur ce petit railway du pays de Galles. A-t-on pour cela été obligé d'élargir la voie ? Nullement ; on s'est contenté, ce qui est fort rationnel, les trains devenant plus nombreux et plus lourds et conséquemment les locomotives plus fortes et plus pesantes, d'augmenter la force de résistance de la voie, c'est-à-dire le poids des rails et des accessoires. Depuis, la ligne fait un service très chargé de voyageurs et de marchandises à la plus grande satisfaction de tous.

Pour terminer ce chapitre, nous rappellerons que différents systèmes ont été proposés pour éviter le spectre du transbordement ; tels sont par exemple, les *chariots transbordeurs* pouvant rouler sur une voie et porter tout chargé sur leur plate-forme le véhicule de l'autre en disposant d'un nombre d'essieux suffisant pour répartir dans une mesure conve-

1. M. Falliès, *Communication sur le chariot transbordeur de Ribeauvillée* à la Société des Ingénieurs civils, 1881.

nable la pression sur le rail. Ces différents trucks n'ont jamais réussi à se répandre parce qu'ils présentent un vice rédhibitoire : ils augmentent le poids mort dans une telle proportion que le transbordement est de beaucoup préférable. Pour bien comprendre tout ce qu'il y a d'irrationnel dans cette manière il faut se rendre compte qu'en outre du chargement, il faut transporter en pure perte sur la petite voie non seulement le chariot spécial, mais le wagon tout entier de la grande voie. A priori cela n'est pas dans la vérité ; dans la pratique c'est encore pis ; ainsi, certaines compagnies, celle du Nord par exemple, dans le but d'éviter les quelques déchets qui accompagnent le transbordement des houilles, avaient imaginé un système de boîtes en tôle munies de tourillons latéraux, et que l'on posait, à la grue, sur les wagons plateformes ; on évitait ainsi la formation de menus ; l'excédent de poids mort qui en résultait et qui est cependant loin d'être comparable à celui d'un wagon transbordeur, fût suffisant pour que le système fut abandonné.

On comprend tout de suite, sans que nous ayons besoin d'insister, que cet exemple passe immédiatement condamnation du système américain qui consiste, dans certains cas, à soulever à la grue la caisse tout entière d'un wagon avec son chargement et à la transporter d'un chassis sur un autre lorsque les voies sont différentes d'une ligne à la ligne voisine.

En outre, la nécessité de ce procédé se ferait d'autant moins sentir en France, qu'on n'a pas comme sur le territoire américain, parsemé le territoire de voies de diverses largeurs sans aucune méthode et selon le seul bon plaisir des ingénieurs placés à la tête des compagnies. Chez nous, le réseau est uniforme avec la même voie partout et nous n'avons jamais eu l'intention de blâmer ce fait pour toutes les lignes de transit ayant un trafic sérieux. Ce que nous combattons, c'est la tendance à supposer que cette uniformité de voie doit se continuer sans raison jusqu'aux extrêmes limites du réseau, c'est-à-dire jusqu'aux lignes d'*intérêt local* qui, par définition, ne présentent qu'un transit presque nul et un trafic local lui-même déjà assez faible. Remarquons enfin que si nous sommes d'avis que l'on a bien fait d'adopter la voie de $1^{m},445$ et l'uniformité de voie pour les lignes d'intérêt général, cela ne veut pas dire que l'on n'ait pas classé à tort dans ce réseau un grand nombre de lignes qui s'y trouvent fort déplacées. L'intérêt électoral est certainement la considération qui a le plus pesé dans ce classement.

Enfin, on a encore souvent objecté que, sur un chemin de fer à voie

étroite, il est impossible d'obtenir des vitesses suffisantes pour donner satisfaction au public. Cependant M. Fairlie estime qu'avec un bon matériel roulant on peut atteindre une vitesse de 72 kilomètres à l'heure; au Festiniog on fait constamment 50 kilomètres. D'ailleurs la faible vitesse ne peut être un argument contre la voie étroite, car toutes les lignes à voie large construites dans le troisième réseau, et quelquefois même dans le second, ont des vitesses variant de 20 à 30 kilomètres à l'heure. Pour ces lignes en effet, le besoin de vitesse n'existe pas; le plus urgent est de desservir toutes les localités traversées pour la commodité du public, et de draîner le plus possible le trafic là où il se trouve.

La seule objection vraiment sérieuse que l'on puisse faire contre la voie étroite est de ralentir ou de détourner les transports militaires. A ces sortes d'arguments, nous avons coutume de n'admettre aucune réplique et, à priori, de nous incliner; cependant, on ne peut nier que même à ce point de vue, la voie étroite ne soit encore susceptible de rendre de très grands services : nous en avons des exemples frappants dans la ligne d'Arzew à Saïda et Mecheria en Algérie (voie de $1^{m},055$), et surtout dans le chemin de fer à voie de $0^{m},76$, construit par les Autrichiens en Bosnie et qui, de Brood-Zenica à Serajevo, compte un développement total de 270 kilomètres[1].

VI

De la voie large économique.

Nous pensons avoir suffisamment démontré par tout ce qui précède que la comparaison n'est soutenable sous aucun rapport entre la voie large et la voie étroite pour la construction et l'exploitation des chemins de fer à trafic restreint.

Cependant, quelques personnes ayant avancé que, tout en conservant l'unité de voie, on pourrait arriver à construire en France les chemins secondaires à voie large presque au même prix qu'à voie étroite, nous nous croyons obligés de nous arrêter un instant sur ce sujet et de réfuter énergiquement cette assertion.

Des chiffres ont même été fournis, et l'on a cru pouvoir affirmer que

1. M. Nordling, Lettre à la Société des Ingénieurs civils 1882.

la voie large ne doit pas coûter plus de 60,000 à 90,000 francs par kilomètre et que, par conséquent, il y avait lieu d'en généraliser l'adoption[1].

On préconise pour cela un type de voie large appelé *économique* et qui consisterait à simplifier le plus possible les installations des grandes lignes en conservant la même largeur de voie. On prendrait un rail plus léger et on ne ferait pas circuler sur la petite ligne les locomotives de la grande, mais il pourrait y avoir journellement et commodément échange des véhicules des deux compagnies.

Nous reviendrons plus loin sur cette question d'échange de matériel dont nous avons déjà parlé précédemment et qui est encore une utopie théorique, lorsqu'il s'agit de petites exploitations; mais, dès maintenant, et en se basant sur nos démonstrations précédentes, il est facile de voir que, quoi qu'on fasse avec la voie large prétendue économique, on n'arrivera jamais, malgré tous les procédés bâtards que l'on pourra employer, à faire que la voie étroite ne revienne notablement moins cher.

La voie large la plus économique aura en outre toujours le désavantage de présenter plus de poids mort à remorquer, tout en ayant une constitution excessivement débile : la voie étroite atténuera considérablement ce défaut, tout en présentant une installation des plus robustes.

Un argument assez spécieux que l'on rencontre chez les partisans de la voie large est que les locomotives des lignes secondaires seront toujours plus lourdes que les wagons les plus chargés des grandes lignes: la voie devra donc être dans tous les cas assez forte pour supporter ces derniers et, par conséquent, il n'y a aucun avantage à se priver de l'unité de voie.

On n'oublie qu'une chose en faisant ce singulier raisonnement, c'est que le poids de la locomotive peut être quelconque; ce qu'il y a d'intéressant, c'est la répartition de ce poids par essieu. Or, les wagons des grandes lignes n'ont jamais que deux essieux chargés chacun de 7 à 8 tonnes, tandis que les locomotives des lignes secondaires qui présentent toujours deux ou trois essieux couplés, ne portent que rarement par essieu cette charge qui ne dépasse pas le plus souvent 5 à 6 tonnes. Ce n'est que dans les cas extrêmes où le trafic est important

1. MM. Béral et Bazire, *Rapport d'une mission confiée par le ministère des travaux publics, en 1879.*

et le profil accidenté que ce poids atteint 8 tonnes, correspondant à une locomotive de 24 tonnes rarement employée sur la voie réduite.

De toutes façons, pour amener un chemin de fer à voie normale à ne coûter que très peu plus cher qu'à voie étroite, on ne peut concevoir qu'un chemin de fer construit dans des conditions différentes, dont les frais d'entretien dépasseront de beaucoup les économies de premier établissement et qui, en outre, sera insuffisant, tandis que la ligne la plus économique à voie étroite desservira mieux le trafic et avec plus de profit que la meilleure des voies larges.

Pour prouver que la voie large économique peut être installée pour 60,000 ou 70,000 francs le kilomètre, les intéressés citent l'exemple de quelques lignes, construites en effet dans ces conditions. Mais ils n'ont certainement pas examiné de près le devis des lignes auxquelles ils font allusion, sans quoi ils s'empresseraient moins de conclure ; et le danger qui en résulte est des plus graves, car il suffirait qu'une conviction semblable se généralisât, pour enrayer complètement dès le début le développement des chemins de fer secondaires, qui exigeront toujours avec la voie large une dépense kilométrique minimum d'environ 100,000 francs par kilomètre, qu'elle que soit l'économie apportée dans leur construction.

Examinons rapidement en effet quelques-unes de ces prétendues lignes économiques qui servent de type à nos contradicteurs.

En premier lieu ils citent celle de Valkany à Perjamos[1] en Hongrie, longue de 44 kilomètres construite par la Société I. R. P. des chemins de fer de l'État, et qui n'a coûté que 63,300 francs par kilomètre. Mais, outre que la voie est posée sur un terrain absolument plat, puisque la différence de niveau des deux extrémités n'est que de 15 mètres environ et que, par conséquent, on n'a eu que peu ou point de travaux, on remarque les particularités suivantes :

1° Il n'y a pas de frais d'acquisition de terrain, car ceux-ci ont été cédés gratuitement par les communes traversées ; en France, cela constitue toujours une des dépenses les plus à redouter à cause de l'aléa de l'expropriation ;

2° Il n'y a aucune dépense de matériel roulant, à l'exception de trois locomotives de supplément ; mais tous les véhicules, voitures et wagons, sont pris dans le stock de la grande compagnie ;

1. M. Fournier, *Annales des Ponts-et-chaussées* ; 5e série, juin 1876.

3° Il n'y a ni atelier, ni outillage de réparation de matériel;

4° On n'a pas tenu compte de l'intérêt du capital pendant la construction.

On voit en somme que si l'on totalise ces diverses dépenses, on arrive facilement à une somme voisine de 40,000 francs qui, ajoutée aux 63,300 francs, donne un total de plus de 100,000 francs.

C'est bien en effet le prix minimum auquel nous estimons le kilomètre de voie large aussi économique que possible en France, sauf de très rares exceptions, et c'est bien ce que vérifie la pratique : ainsi, les premières lignes d'intérêt local, construites sous l'empire de la loi du 12 juillet 1865 et établies selon l'esprit erroné de l'époque, à voie normale, sont celles de Barbezieux à Châteauneuf, de la Seudre, de Mamers à Saint-Calais, etc., tous ces chemins qui parcourent des régions en général peu accidentées, ont coûté dans les environs de 100,000 francs par kilomètre. Aussitôt que le terrain devient plus mauvais et que l'on est forcé d'employer des déclivités de 0m,012 à 0m,015, le coût kilométrique dépasse notablement le prix précédent. C'est ce que montre le tableau suivant des chemins de fer établis par MM. Coumes et Muntz en Alsace :

DÉNOMINATION	LONGUEUR	COUT kilométrique.
Chemin de fer vicinal de Strasbourg à Bar, Wasselonne et Mutzig.	49	117,300 fr.
Chemin de fer de Haguenau à Niederbronn. . .	21	90,700
— — de Sainte-Marie-aux-Mines	21	119,800

Le second paraît nous contredire, mais il a été installé sur des terrains d'alluvion donnant du ballast sur toute la longueur et, en outre, pour aucune de ces lignes, ces prix ne comprennent les frais d'avant-projets ni d'études définitives.

Un autre exemple de chemin de fer à voie large, souvent cité à cause de sa construction économique, est celui qui est exploité en Prusse par le régiment des chemins de fer[1]. Il a une longueur de 46 kilomètres.

1. M. Ch. Baum, *Journal des sciences militaires*.

ayant coûté chacun 76,000 francs. Mais, outre que le terrain parcouru est absolument plat, la voie, sur près de 30 kilomètres, c'est-à-dire les 3/4 du parcours, est posée sur la même plate-forme que le chemin de fer de Berlin à Dresde, réalisant une économie énorme en acquisition de terrain, terrassements et ouvrages d'art. De plus, on a encore oublié de tenir compte des frais d'avant-projets et d'études définitives, des frais généraux pendant la construction et de l'intérêt du capital pendant la même période.

En résumé, ces prétendues voies larges économiques présentent toutes quelques particularités ou quelques lacunes d'estimation qu'on omet toujours, volontairement ou non, de signaler.

De toutes façons, l'adoption du système bâtard d'une voie large pour desservir un faible trafic nous paraît une profonde erreur économique et technique. On aura beau diminuer le poids des machines, des rails, simplifier les installations des gares et stations, etc., on ne pourra jamais éviter ce fait que la voie étroite permettra d'employer des rayons de courbe au moins deux fois plus petits que ceux de sa rivale, et par conséquent épouser le terrain beaucoup plus complètement, évitant ainsi terrassements et ouvrages d'art, etc.

Empêchera-t-on encore la voie large d'entraîner des pièces plus fortes dans tous les organes du matériel? Les essieux, plus longs, ne devront-ils pas avoir un diamètre plus grand? Les longerons et traverses du châssis ne devront-ils pas être plus longs, supporter une flexion plus grande, et par conséquent présenter des dimensions transversales plus fortes ? Toutes les pièces de détails reliant des pièces plus fortes ne seront-elles pas elles-mêmes plus importantes ? Les rails ne seront-ils pas obligatoirement plus lourds pour résister à ces charges supplémentaires et à l'usure spéciale qui résultera toujours des efforts exagérés que l'on fera pour serrer les courbes sur la grande voie, qui ne le permet pas? Et cela, sans tenir compte encore de l'augmentation de résistance qu'il faut donner à toutes les parties de la voie pour supporter la formidable augmentation de poids mort que nous connaissons ? Les traverses ne seront-elles pas de 1/3 plus longues, et par ce seul fait plus larges et plus épaisses pour leur propre sécurité, en même temps que pour supporter un matériel plus lourd ? Alors même qu'on les rapprocherait davantage, ce qui augmenterait de toute façon la dépense, n'en sera-t-on pas moins obligé de conserver leur longueur qui doit, pour une stabilité suffisante, dépasser le rail d'au moins

$0^m,50$ avec la voie large, tandis que $0^m,35$ suffisent avec la voie étroite? Le ballast ne sera-t-il pas évidemment plus large et plus épais pour répartir des pressions plus fortes ? Et les appareils de la voie, changements, croisements, plaques tournantes, etc., qui constituent toujours des détails coûteux, demandent un soin tout particulier, des traverses spéciales et des bois de choix, n'auront-ils pas des dimensions et des poids plus considérables que sur la voie étroite et leurs prix n'en sont-ils pas directement augmentés ?

Mais, en outre, comme la voie large, si économique qu'elle soit, entraîne toujours avec elle un supplément excentrique de poids mort à remorquer, il faudra, *pour le même trafic*, que celle-ci emploie des locomotives sensiblement plus lourdes, partant plus coûteuses d'acquisition et d'entretien. Or, comme la locomotive est l'élément déterminant de toutes les parties d'un chemin de fer, celles-ci ont toutes forcément des proportions plus résistantes pour les mêmes besoins. Il n'y a pas jusqu'aux derniers ouvrages d'infrastructure, jusqu'au plus petit aqueduc qui ne s'en ressente. Tous les éléments de l'installation sans exception, terrassements, ouvrages d'art, etc., seront augmentés d'une façon importante, non seulement en largeur mais aussi en épaisseur de maçonnerie et de tôle, des fondations au tablier. Pour la voie, les rails supportant une locomotive plus lourde, devront être eux-mêmes plus forts, ainsi que tous les accessoires.

Enfin, il en résultera forcément pour tout ce matériel d'un prix plus élevé des frais d'entretien et de renouvellement évidemment plus importants, ainsi qu'une plus grande dépense de matières, étoupes, graisse, etc. De sorte qu'en admettant des installations de gares aussi simplifiées qu'on le voudra, on ne pourra jamais avoir le même personnel d'entretien et que les frais d'exploitation seront plus élevés.

Certains ingénieurs ont alors proposé pour conserver la voie large, tout en lui donnant la flexibilité de la voie étroite, d'employer le matériel roulant articulé du système américain avec deux trucks à bogies.

Nous ne voulons pas faire ici une comparaison entre les matériels européen et américain ; cela nous mènerait un peu loin de notre sujet, et une discussion spéciale pourrait fructueusement s'engager à la Société sur cette question. Ce que nous pouvons dire, c'est que toutes les grandes lignes du continent, excepté peut-être en Russie, qui l'ont essayé, l'ont successivement abandonné. Mais pour ce qui concerne les lignes à faible trafic, nous pensons que, quelle que soit

la largeur de la voie, ces véhicules constituent une grosse erreur dans l'exploitation, à cause de leurs grandes dimensions qui les rendent encore plus difficiles à remplir et à manœuvrer que le matériel ordinaire; en outre ils rendent impossibles les manœuvres par plaques, qui peuvent être quelquefois utiles, quoique la plupart des remaniements des trains se fassent le plus souvent sur ces petites lignes, à la machine. Ce matériel est à priori complètement inadmissible pour le transport des marchandises; il est impossible en effet de supposer que si l'on a déjà beaucoup de mal en exploitation courante, à remplir complètement des wagons très petits, on arrivera facilement à réaliser ce *desideratum* pour les immenses véhicules du système américain. Il ne peut donc y avoir hésitation que pour les voitures à voyageurs qui constituent la plus petite partie du matériel roulant. Mais, là encore, le type américain est irrationnel, excepté peut-être pour une voiture mixte contenant à la fois des voyageurs, le fourgon à bagages et le compartiment de la poste. En dehors de ce véhicule spécial qu'on est à peu près sûr d'avoir toujours convenablement utilisé, les autres voitures de ce genre seront trop grandes pour les besoins ordinaires et risqueront fort, dans la plupart des cas, de circuler à vide; elles présenteront encore ce grave inconvénient d'exiger l'attelage d'un poids supplémentaire relativement énorme pour un très petit nombre de voyageurs qui n'auront pu trouver place dans le train. Enfin, de toutes façons, ce système appliqué, même dans ces limites, a le défaut de rompre l'uniformité des types du matériel, spécialement au point de vue des châssis, et l'on sait combien cette uniformité est précieuse en pratique sous le rapport de la facilité des réparations et de la mise en place des pièces de rechange.

Le matériel articulé présente d'ailleurs un poids mort encore plus grand que celui de la voie normale. A plus forte raison présente-t-il un poids mort excessivement exagéré par rapport à celui de la voie de 1 mètre, par exemple. Aux États-Unis, les wagons couverts ont en moyenne $9^m,10$ à 11 mètres de long, $2^m,39$ à $2^m,75$ de large, sont portés par deux trucks à quatre roues et pèsent, à vide, de 9 à 11 tonnes; les plates-formes ont environ le même poids; les wagons-tombereaux ont $3^m,66$ de long, $1^m,98$ de large, 8 roues, pèsent 6 tonnes et en portent 10; le wagon ordinaire, pesant 9 tonnes, en porte 13; la proportion du poids de la charge au poids du wagon est de $1^t,4$ à 1 tonne. Et sur les lignes les mieux exploitées, le matériel

américain à marchandises présente une utilisation de 27 pour 100, c'est-à-dire que les wagons construits pour porter 10 tonnes n'en portent en moyenne que $2^t,7$ [1].

Quant au matériel à voyageurs, les voitures à trucks des États-Unis peuvent généralement contenir 56 places ; elles ont de 14 mètres à $14^m,60$ de longueur et $2^m,60$ à $3^m,05$ de largeur ; leur poids à vide est de 15 tonnes, c'est-à-dire de quatre fois le poids utile, et, dans la pratique, les voitures étant au plus remplies à moitié, ce rapport est en réalité de 8 à 1. Sur les lignes norwégiennes, les voitures pèsent $3^t,9$ à $4^t,6$ et présentent 32 places, ce qui donne un poids mort de 1,82 à 2,05 du poids utile. Sur les lignes de Livonie, le même rapport est de 2,5 à 1 ; sur celle de Novgorod, 2,7 à 1 et, en Nouvelle-Zélande, 1,75 à 1. Quoique les proportions du matériel norwégien soient les moins favorables, on voit qu'elles sont encore de beaucoup supérieures à celles du matériel américain.

Sur les petites lignes d'ailleurs, le rapport du poids mort au poids utile est généralement de 1 à 3 ; ainsi ce rapport est :

Sur la ligne de Novgorod, de	1 à 3
Tavaux-Pontséricourt.	1 à 3
Livonie.	1 à 3
Nouvelle-Zélande.	1 à 3
Saint-Léon	1 à 3
Montepone	1 à 2,5

Sur la voie large ordinaire, ce rapport est de 1 à 2 ; on voit donc l'infériorité de la voie américaine, qui ne présente pour ce chapitre qu'un rapport de 1 à 1,4 ou 1,8.

Mais, même avec le matériel articulé, la voie large sera plus coûteuse que la voie étroite, simplement par ce fait que tout y est plus grand, comme l'a péremptoirement démontré M. Sartiaux [2], ingénieur, sous-chef de l'exploitation au chemin de fer du Nord, au moyen d'une expérience personnelle sur le chemin de fer à voie de 1 mètre d'Hermes à Beaumont. En négligeant les économies d'exploitation qui sont,

1. M. Fairlie, *Aurons-nous ou n'aurons-nous pas des chemins de fer ?* Lacroix, éditeur.
2. M. E. Sartiaux, *Note sur la question des chemins de fer économiques. Revue générale des chemins de fer*, mai 1883.

comme nous le savons, fort importantes, et admettant pour la voie large un matériel constitué de manière à passer par les mêmes courbes que celui de la voie étroite, M. Sartiaux reprit le devis de la ligne en supposant le même tracé, le même profil en long, la même épaisseur de ballast, les mêmes banquettes, fossés, etc. Le résultat fut qu'il était impossible, même dans ces conditions d'installation irrationnelles pour une voie large, de descendre le coût kilométrique au-dessous de 100,000 francs. Or, le chemin coûte 77,000 francs; l'économie réalisée est donc encore de 23 pour 100, sans parler, nous le répétons, de l'exploitation défectueuse fournie par le matériel articulé.

Voici comment M. Fairlie [1] parle du matériel américain : « J'affirme sans hésiter que ceci est un des types les plus extravagants de voitures en ce qui concerne le poids mort du matériel roulant. Il est admis que les trucks mobiles sont nécessaires sur les chemins américains pour rouler facilement sur des lignes *mal entretenues*, et pour parcourir librement les courbes. Je présume, en raison de l'emploi presque universel de ce truck mobile, que ses avantages balancent les excès du poids mort qu'il occasionne. Le rapport moyen de la capacité de chargement du matériel à quatre roues pour marchandises, relativement à son poids mort, est de 1,9 à 1, tandis que ce même rapport pour le matériel avec trucks mobiles et à 8 roues, est seulement de 1,4 à 1.

Cette différence, même sans l'avantage résultant de la facilité du chargement et du maniement des petits wagons, aurait depuis longtemps assuré l'adoption de ces derniers, si ce n'était l'existence des raisons pratiques auxquelles j'ai fait allusion. »

Nous ajouterons qu'avec la voie étroite on peut avoir un écartement d'essieux de très peu supérieur à celui des trucks du système américain, qui perdent donc ainsi véritablement toute leur valeur. Ce matériel, dit-on, réduit encore les oscillations latérales; mais, les faibles vitesses des chemins de fer d'intérêt local sont peu inquiétantes à ce point de vue, surtout si l'on fait usage du tampon central, qui évite de voir à certains moments l'extrémité d'un wagon supporter entièrement celle du wagon voisin, de sorte qu'il n'y a pas de charge sur une et quelquefois sur deux roues.

En somme, les avantages que présente au point de vue du roulement

1. M. Fairlie, Rapport lu à l'Association britannique de Liverpool.

le matériel articulé sur la voie large, disparaissent complètement sur la voie étroite, et, au point de vue de l'exploitation économique, ce matériel ne mérite même pas la discussion.

VII

Conclusion.

Le chemin de fer à voie étroite remplit donc parfaitement les conditions du *desideratum* cherché : *sécurité*, *efficacité*, *économie*, cette dernière étant toujours représentée au minimum par la *réduction de la largeur de la voie.*

Un chemin de fer, en adoptant la voie réduite, ne perd nullement de sa capacité de trafic, tandis que les économies qu'il réalise sont très sensibles, non seulement sur la construction, mais encore dans l'exploitation.

Comme nous l'avons démontré précédemment, le matériel roulant de la grande voie doit présenter un poids exagéré pour les besoins de sa propre solidité et à cause des lourds chargements qu'il est appelé à porter quelquefois : mais, le plus souvent, les wagons, pour répondre aux exigences du trafic, ne sont que partiellement chargés ; il en résulte pour l'adoption de la voie large, non seulement une augmentation des dépenses de construction, mais encore du matériel roulant, de l'entretien, de la traction, du renouvellement et de l'entretien de la voie et du matériel, en même temps qu'un accroissement sensible des frais de manœuvres des gares, de fournitures de matières, etc.

La question de la réduction de la voie se pose aujourd'hui d'une façon d'autant plus impérieuse qu'il est devenu impossible actuellement de construire en France le moindre chemin de fer sans qu'un certain revenu soit assuré par les pouvoirs compétents aux capitaux engagés, c'est-à-dire dans ce qu'on appelle la garantie d'intérêt. Or, cette garantie effraye les intéressés lorsqu'elle est trop forte ; il faut donc la réduire le plus possible, c'est-à-dire diminuer le capital qui la nécessite. Sans cela, les lignes d'intérêt local restant à construire en France, et dont le réseau doit atteindre le développement du réseau d'intérêt général, c'est-à-dire plus de 35,000 kilomètres, constitueront pour l'État et les budgets départementaux des charges écrasantes et tout à fait disproportionnées avec les bienfaits à attendre de ces nou-

velles voies ferrées. On s'expose ainsi à renoncer à l'espoir de voir jamais construire ces lignes; or, elles peuvent cependant être construites, mais à la condition d'avoir recours à la voie étroite.

Certains ingénieurs ont avancé que la voie étroite n'était réellement admissible que pour un parcours assez long, et que, lorsqu'on se trouvait par exemple à moins de 10 kilomètres de la soudure avec la grande ligne, l'installation d'une petite voie était tout à fait illogique. En effet, disent ces personnes, d'abord, pour un si petit parcours, le trafic échappera en grande partie à la ligne et, en second lieu, la nécessité du transbordement fera préférer aux intéressés le transport direct de leurs produits à la gare terminus.

Ce raisonnement, qui paraît très sensé au premier abord, est en réalité complètement dépourvu de bases sérieuses. En effet, pour le plus petit parcours, le trafic n'échappera que si l'on veut bien le laisser échapper : il suffira, pour le ramener, de réduire un peu les tarifs ordinaires, spécialement pour les voyageurs; mais surtout on aura soin d'envoyer des embranchements dans toutes les usines et les grandes fermes, pour que tout le monde ait une grande facilité à se servir de la voie ferrée. Comme nous le faisait un jour très justement remarquer un ingénieur dont la compétence ne fait de doute pour personne, M. Jacqmin, inspecteur général de l'exploitation au chemin de fer de l'Est, les industriels ou fermiers, voyant la faible dépense que la petite voie entraîne, n'hésiteront jamais à faire établir un embranchement allant jusqu'au cœur même de leur usine ou de leur exploitation, pour y amener ou enlever les marchandises; aucun d'eux ne voudra plus avoir cet encombrement dispendieux de chevaux et de charrettes. Que devient d'ailleurs, dans ce cas encore, l'objection du transbordement? Ne faudra-t-il pas toujours transborder les tombereaux à la gare d'arrivée et ne vaut-il pas mieux se rendre à la gare la plus proche ou au raccordement prévu par voie ferrée que par voie de terre?

Dans ces conditions, il est de toute évidence que la voie étroite est indiquée pour la plus petite distance et qu'il ne faut jamais hésiter à l'appliquer : elle est toujours appelée à rendre d'importants services.

C'est ce qu'on paraît avoir compris dans certaines régions, d'où la voie réduite avait été pendant longtemps sévèrement proscrite. Ainsi, M. Sévène, dans son cours à l'École des ponts et chaussées, citait les principaux exemples de lignes à petite voie et préconisait l'emploi de celle-ci sur les chemins de fer à faible trafic.

Le Ministère actuel des travaux publics[1] a décidé depuis longtemps déjà d'étudier et de construire à voie étroite toutes les lignes promises aux populations et qui n'ont pu être classées dans celles que les conventions ont rétrocédées aux grandes compagnies. Le rapport de M. Rousseau sur le budget de 1885 le reconnaît nettement d'une manière officielle et insiste sur le caractère d'affluents que présentent ces petites lignes par rapport aux grandes ; en conséquence, il émet l'opinion que nous avons déjà à plusieurs reprises exposée devant la Société des Ingénieurs civils, que les grandes compagnies, comme le fait celle du Nord, doivent encourager le développement de ce réseau secondaire et lui venir en aide en prenant pour son compte une partie de ses charges financières, en lui donnant l'appui de leur crédit ou en encourageant le trafic au moyen d'une subvention par tête et par tonne amenée à la gare commune.

Le chemin de fer à voie étroite est le seul proportionné aux besoins des lignes ferrées restant à construire en France, et bon nombre de chemins de fer classés dans le trop fameux programme Freycinet auraient dû être prévus et exécutés avec cette voie. Nous n'en serions pas aujourd'hui aux expédients pour équilibrer le budget, et nous n'aurions pas vu une dépense, évaluée primitivement à 4 milliards, dépasser le chiffre de 9 milliards, en restant loin d'atteindre le but proposé !

Comme nous l'avons vu, les économies dans l'établissement de ces chemins se font sentir sur tous les éléments. Elles portent en effet sur les terrains, les terrassements, les ouvrages d'art, les rails et leurs accessoires, les appareils de la voie, le ballast, les traverses, les bâtiments, le matériel roulant et l'outillage d'exploitation et d'entretien. Tout subit une diminution considérable en surface, cube, poids, nombre ou importance.

Il en est de même des frais d'exploitation et d'entretien ; le personnel nécessaire au service et la consommation des matières diminuent également dans une forte proportion. Et cette proportion, nous le rappelons, est représentée *au minimum par la diminution de largeur de la voie.*

Nous sommes convaincu que ces chemins de fer sont les seuls financièrement réalisables. Les populations encore dépourvues de voies ferrées feront donc bien d'en préconiser ardemment l'adoption, sous peine de se voir, par suite d'une question d'amour-propre mal

1. M. *Raynal*, Ministre ; M. *Bahiaut*, Sous-secrétaire d'État.

placé, privées à jamais de moyens de communication rapides et économiques.

Il s'agit, comme on l'a très justement dit souvent, de faire aujourd'hui pour les voies ferrées ce que l'on a fait depuis longtemps pour les voies de terre ordinaires. Après les grandes artères ou routes nationales ayant un but stratégique, politique et commercial de premier ordre, on a construit les routes départementales, puis les chemins de grande communication, les chemins vicinaux, les chemins ruraux, et même on a classé souvent comme chemins utiles de simples sentiers. C'est exactement ce qu'a fait la nature qui, à côté des grands fleuves, a placé des cours d'eau de moindre importance qui vont en se ramifiant à l'infini jusqu'aux plus petits ruisseaux, tous, d'ailleurs, servant d'*affluents* les uns aux autres.

Eh bien, pour les chemins de fer, les grandes artères sont depuis longtemps établies; les lignes de second ordre le sont également, ainsi que presque toutes celles de troisième ordre; il ne reste plus à construire qu'un véritable réseau de chemins de fer vicinaux. Comment se fait-il que l'on trouve tout naturel d'employer pour ces derniers tous les procédés et errements des grandes lignes, quand il paraîtrait absolument ridicule d'installer un chemin vicinal ordinaire avec une largeur de 20 mètres, comme certaines routes nationales!

Non. Il faut installer modestement des chemins de fer appelés à répondre à des besoins modestes, et, à cette condition, on pourra, dans un avenir rapproché, en doter les plus petites bourgades de France; si bien que nous aurons alors en voie ferrée un réseau servant d'affluents aux grandes lignes et comparable à celui des chemins vicinaux ordinaires, qui a rendu de si grands services après avoir été également si mal compris à l'origine.

On reste vraiment stupéfait, étant connus aujourd'hui par expérience tous les avantages de la voie étroite, de voir encore poursuivre avec l'acharnement du désespoir la lutte d'ingénieurs de la vieille école, qui sont d'accord pour nier les faits qui sont de toute évidence depuis longtemps à l'étranger et commencent à le devenir en France. Ils se plaisent à accumuler une foule d'arguments singuliers, par lesquels ils se procurent la satisfaction de se prouver que ce qui existe depuis longtemps chez les autres est impossible chez nous.

La voie large est aujourd'hui superflue partout, et ceux qui la préconisent faussent l'opinion, en même temps que ceux qui l'emploient

donnent un mauvais exemple et gaspillent en pure perte les deniers qui leur sont confiés en excitant des idées d'envie chez les populations moins favorisées. Sans compter les erreurs que l'on entretient à plaisir dans le public, qui s'imagine souvent que les chemins de fer à voie étroite sont des lignes sur lesquelles la stabilité du matériel est insuffisante, la vitesse forcément très faible, l'exploitation périlleuse, la sécurité nulle, etc. Toutes choses d'autant plus singulières qu'on n'entend au contraire jamais parler d'accidents sur ces petites exploitations, tandis que les grandes en offrent tous les ans un nombre fort respectable.

L'entêtement des populations à réclamer la voie de $1^m,445$ est d'autant plus singulier que cette voie a été choisie à l'origine d'une façon tout à fait fortuite et simplement parce que c'était la largeur courante des véhicules ordinaires. On aurait pu tout aussi bien choisir la voie de 1 mètre qui, excepté pour les grandes artères de transit, possède une puissance de transport plus que suffisante, et serait devenue la voie normale, sans que personne songeât à y trouver à redire. De cette façon on eût pu construire il y a longtemps, beaucoup plus de lignes en dépensant bien moins d'argent.

En résumé, comme nous l'avons dit, le kilomètre de voie large coûte en France au minimum 100,000 francs le kilomètre, et ce prix atteindra 150,000, 200,000 francs et même beaucoup plus en pays accidenté. La voie étroite, au contraire, même réduite simplement à 1 mètre, ne coûtera guère que 50,000 à 80,000 francs, soit en moyenne 65,000 francs; il n'y a donc pas à hésiter à l'employer, si l'on veut construire des chemins de fer dans les pays qui en sont encore dépourvus. Il faut, nous le répétons, que l'instrument soit proportionné au travail qu'il a à exécuter, et, dans la plupart des cas, ce travail est si modeste, le trafic à espérer est si restreint, que ce serait commettre la faute la plus grave que de construire un chemin de fer à grande voie, c'est-à-dire à grande dépense. *Il n'y a plus actuellement en France aucun chemin de fer à grande voie à construire, sauf ceux que les raisons stratégiques et militaires pourraient commander.* Dans tous les autres cas, la grande voie constitue un luxe inutile et dangereux, une faute et une erreur économique; la voie étroite s'impose absolument, et c'est la seule qui soit rationnellement en harmonie avec le but qu'on se propose d'atteindre.

CHRONIQUE

Sommaire. — Organisation d'un bureau de dessin. — Locomotive à distribution Corliss. — Locomotives Compound en Allemagne. — Distribution dans les machines Compound. — Ventilation des mines à grisou. — Adhérence des câbles métalliques sur les poulies à gorge. — Expansion dans les machines marines.

Organisation d'un bureau de dessin. — Les *transactions* de la Société américaine des ingénieurs mécaniciens contiennent une intéressante communication de M. Henry R. Towne sur l'organisation des bureaux de dessin, dont voici un résumé.

Dans toutes les maisons de construction, on a senti la nécessité d'une organisation méthodique de la confection et de la conservation des dessins et modèles. L'auteur emploie chez lui depuis longtemps un système que l'expérience a fait reconnaître pour simple et efficace; il a pensé qu'il pourrait être utile de le porter à la connaissance de ses collègues.

Le bureau de dessin, comme tous les services d'un atelier de construction, doit avoir un chef reconnu officiellement, quel que soit d'ailleurs le titre qu'on lui donne. Quelquefois, si l'établissement a des branches d'affaires très distinctes, il peut y avoir plusieurs chefs, chacun ayant, bien entendu, ses attributions définies. La personne qui remplit ces fonctions doit avoir pleine autorité sur ses subordonnés, de même qu'elle a la responsabilité de ses actes dans la limite de l'initiative qui lui est laissée par ses supérieurs. En vertu de ce principe, tout dessin produit par le bureau doit porter la signature du chef et, en outre, les initiales du dessinateur qui l'a exécuté. Il est donc facile de reconnaître à première inspection à qui l'on doit faire remonter la responsabilité d'une erreur.

L'uniformité de dimension des feuilles de dessin est importante; tout au plus peut-on admettre deux ou trois formats. On doit également tenir à l'uniformité des inscriptions, titres, légendes, etc. Les titres doivent toujours occuper la même position sur les dessins, de préférence au bas de la feuille, parce qu'on peut les voir plus facilement lorsque les dessins sont empilés dans les tiroirs. On doit adopter des caractères faciles à faire à la main et rapidement; il faut éviter les caractères de fantaisie. On trouve une économie réelle à faire faire les écritures des dessins par un employé spécial,

si le bureau a assez d'importance, plutôt que par les dessinateurs. On gagne du temps et on obtient un travail plus uniforme et plus satisfaisant. L'auteur donne un exemple de titre emprunté à la pratique du bureau de dessin de sa maison (*The Yale and Towne Manufacturing Company, Stamford, Connecticut*).

Dans un bureau de dessin de quelque importance, il est nécessaire d'avoir un ou même plusieurs employés qui, outre les écritures des dessins, comme il vient d'être expliqué, tiendront le journal du bureau, feront les commandes pour les ateliers, s'occuperont de la préparation des bleus, et du classement et de la conservation des dessins. Ces opérations coûtent moins et sont mieux faites par des employés spéciaux que par les dessinateurs.

On ne saurait trop recommander l'emploi des carnets à l'exclusion des feuilles volantes pour tout ce qui est notes, croquis, calculs, etc. Ces carnets doivent avoir à peu près $0^m,18$ sur $0^m,22$ et contenir 125 feuilles de bon papier blanc, propre à recevoir l'écriture au crayon et à l'encre; ils coûtent très bon marché. On reconnaîtra rapidement l'utilité de conserver la trace de tous les pas d'une étude et on économisera tout au moins le temps passé trop souvent à courir après les feuilles volantes où on a fait un calcul ou un croquis.

Tout bon de commande aux ateliers, émanant du bureau de dessin, doit être fait sur des feuilles imprimées avec blancs à remplir et numérotage approprié. Les remplissages y sont faits à l'encre à copier et sont reproduits dans un registre d'ordre semblablement disposé.

Les calibres et tracés en grandeur naturelle nécessaire au travail des ateliers doivent être exécutés dans le bureau de dessin. Il y a avantage au point de vue de l'économie et de l'exactitude. De même les nomenclatures des matières, fers, tôles, bois, boulons, rivets, etc., nécessaires à l'exécution d'un travail, doivent être préparées au bureau de dessin.

Les procédés héliographiques de reproduction connus sous le nom de bleus sont aujourd'hui très employés dans les ateliers où ils procurent une grande économie. Voici comment on doit procéder. Les dessins originaux sont exécutés au crayon sur papier ordinaire; on en fait des calques sur toile à l'encre de Chine; ce sont ces calques qui deviennent les originaux d'après lesquels on fait des bleus pour les ateliers et pour les clients. Si plus tard on a à faire une modification au dessin primitif, on la fait sur le dessin au crayon sur papier et on fait de celui-ci un nouveau calque sur toile d'où on tire des bleus. On a soin de conserver sur le dessin au crayon les divers numéros et dates des modifications et de numéroter convenablement les originaux successifs sur toile. En dehors du cas de modifications à faire, les dessins au crayon ne sortent jamais des archives où ils sont conservés.

Les dessins sont répertoriés sur des registres qui n'ont rien de particulier. Il en est de même pour les modèles. Du reste, l'auteur n'a pour but que de fournir des indications générales qui peuvent subir des modifications suivant la nature du travail de chaque établissement.

Il donne la reproduction complète des règlements pour la confection des dessins et modèles dans le bureau de dessin de son établissement, comprenant dimensions des dessins, des titres, échelles, numérotage, indication des matières sur les dessins, désignation des boulons, classification et nomenclature des dessins, disposition des tiroirs à dessins, etc. Il serait sans intérêt de reproduire en détail ces indications, d'autant plus que beaucoup sont spéciales à la pratique américaine et aux mesures en pieds et pouces. Nous noterons seulement une observation intéressante faite par un membre de la réunion. On emploie actuellement dans quelques bureaux de dessin aux États-Unis un procédé économique dû à M. Wellman, des acieries d'Otis, à Cleveland. Les dessins sont faits sur un papier spécial très mince, transparent et résistant, assez analogue au papier des billets de banque, ce qui permet d'obtenir les bleus directement du tracé original sans passer par l'intermédiaire coûteux du calque sur toile ou papier. Il y a, en dehors de l'économie, l'avantage que, ce papier étant très mince, on peut superposer dans un tiroir beaucoup plus de dessins que si ceux-ci étaient faits sur papier ordinaire. Il y a évidemment là un progrès et il ne doit pas être difficile d'obtenir un papier convenable, même sans s'adresser à M. Wellman, comme le conseille l'auteur de l'observation intéressante que nous venons de rapporter.

Locomotive à distribution Corliss. — On entend dire depuis longtemps qu'il avait été jadis construit aux États-Unis une locomotive avec distribution Corliss, laquelle n'aurait d'ailleurs pas été reproduite. Nous n'avions, malgré nos recherches, rien trouvé à ce sujet, lorsqu'une indication donnée lors d'une discussion à la Société américaine des Ingénieurs mécaniciens nous a fait consulter les notices nécrologiques publiées sur Alexandre L. Holley.

Cet ingénieur, l'un des plus distingués des États-Unis, où il a joué un rôle capital dans l'installation de la fabrication de l'acier Bessemer, est mort en 1882. Par l'initiative des diverses sociétés d'ingénieurs dont il avait été président et vice-président et de ses nombreux amis, il a été publié un *Mémorial* contenant des discours prononcés à ses obsèques ainsi que diverses notices. Nous avons trouvé dans cette publication quelques renseignements qui, sans jeter beaucoup de jour sur la question au point de vue technique, n'en présentent pas moins quelque intérêt.

Holley entra, à sa sortie du collège, vers 1852, dans les ateliers de Corliss et Nightingale, à Providence; cette maison s'occupait alors de l'application aux locomotives de la distribution Corliss qui avait déjà à cette époque donné de bons résultats sur les machines fixes, mais qui était loin d'être aussi connue qu'elle l'est devenue depuis. Holley fut placé dans le département des locomotives où il fut employé comme dessinateur, puis comme mécanicien et ce fut en cette dernière qualité qu'il fut appelé à conduire la locomotive *Advance* sur le chemin de fer de Stonington, où il lui fit faire un service assez prolongé pour montrer la possibilité de fonc-

tionnement pratique de la machine et même, paraît-il, pour arriver à la faire acheter par une compagnie. La distribution était très satisfaisante à en juger par les diagrammes d'indicateur qui étaient infiniment plus réguliers que ceux qu'on obtient avec les distributions à coulisses, mais les mouvements étaient si compliqués et si délicats que, malgré diverses modifications successives, rien ne pouvait résister en pratique. Après chaque trajet effectué par la machine, il fallait des journées de travail pour la remettre en état.

Dans un discours prononcé, en 1881, au dîner annuel de la Société des Ingénieurs mécaniciens, Holley raconta avec une verve humoristique et un style imagé dont il nous serait impossible de donner une idée, les tribulations que lui avait fait endurer la *Vieille sauteuse*, Old Jigger, ainsi qu'on appelait familièrement la machine en question.

On aurait pu croire, disait-il, que c'était autre chose qu'un assemblage de pièces métalliques, ou tout au moins que cet assemblage était animé par une sorte d'esprit analogue à celui d'un être résultant de la collaboration du diable et d'une mule du Colorado, animal que l'Old Jigger rappelait d'ailleurs au point de vue de sa constitution physique à peu près aussi compliquée que celle d'une *mule* de filature.

Bref, cette machine était singulièrement capricieuse; tantôt elle fonctionnait admirablement, battant toutes les autres machines du dépôt; tantôt, et c'était beaucoup plus fréquent, il fallait aller la chercher en route et la ramener, heureux si, à peine sortie de la remise, il ne fallait pas l'y faire rentrer à la pince.

Holley dit plaisamment qu'on avait préparé 365 rechanges des distributeurs, un pour chaque jour de l'année, et que, quant aux pièces du mécanisme, il n'a jamais essayé de les compter, pas plus qu'on essaye de compter les grains de sable du bord de la mer. En revanche la machine donnait les plus beaux diagrammes d'indicateur qu'on ait jamais relevé sur une locomotive, ligne d'admission absolument horizontale, fermeture nette, courbe d'expansion presque théorique, échappement aussi libre que si le plateau du cylindre venait d'être défoncé.

Malheureusement cela ne suffisait pas, et Holley, qui avait la passion de la construction des locomotives, dut s'avouer que, s'il voulait s'y livrer sérieusement il ferait bien de chercher un autre atelier que celui de MM. Corliss et Nightingale, qu'il quitta en effet après y être resté dix-huit mois. Les essais de la locomotive Corliss paraissent en être restés là.

Voilà tout ce que nous avons pu recueillir sur ce sujet. Nous serions heureux que ces lignes tombassent sous les yeux de quelques-uns de nos collègues des États-Unis, qui fussent en mesure de nous fournir quelques documents sur cette question qui présente un certain intérêt au point de vue de l'histoire de la locomotive.

Locomotives Compound en Allemagne. — Nous avons, dans la *Chronique* de février 1882, page 220, donné quelques détails sur les

machines à marchandises à fonctionnement Compound, construites par Henschel et fils, à Cassel, pour les chemins de fer de l'État de Hanovre [1]. M. von Borries, *Maschinen-Meister* de ces lignes, a fourni à l'Association des Ingénieurs mécaniciens allemands, les renseignements suivants sur les résultats obtenus avec ces machines. Nous les extrayons des *Annales de Glaser*.

Les machines Compound 1121 et 1122 ont été essayées comparativement avec des machines à fonctionnement ordinaire sur la ligne à fortes rampes Gottingen-Münden-Cassel, qui présente des inclinaisons de 15,5, 12,5 et 10 millièmes sur de grandes longueurs.

La comparaison de la machine 1122 avec la machine 856, type ordinaire des machines à marchandises de l'État de Hanovre, avec chaudière à 9 kilogrammes, a donné les résultats suivants comme consommation de combustible à travail égal :

Machine 856. . . . . 16,9 kilogrammes par kilomètre.
Machine 1122. . . . . 13,9 — —
Économie : 17 pour 100 en faveur de la machine Compound.

La machine 1121 a été comparée sur la même ligne successivement avec les machines ordinaires, mais à chaudière à 12 kilogrammes, 1078 et 1080, type du Main-Weser-Bahn.

Voici les chiffres obtenus :

Période du 1er au 31 octobre 1883.

Machine 1078. . . . . 25,6 kilogrammes par kilomètre.
Machine 1121. . . . . 21,1 — —
Économie : 18 pour 100 en faveur de la Compound.

Période du 26 janvier au 29 février 1884.

Machine 1080. . . . . 26,3 kilogrammes par kilomètre.
Machine 1121. . . . . 20,5 — —
Économie : 22 pour 100 en faveur de la Compound.

L'économie moyenne est donc de 20 pour 100.

Il a été, en outre, constaté, dans les essais comparatifs faits entre les machines 1078 et 1080 d'une part et 1121 de l'autre, que, sur les rampes de 15,5 avec 50 essieux chargés, la vitesse était plus grande et la marche plus régulière avec la dernière; la pression de la vapeur et le niveau d'eau étaient beaucoup plus faciles à maintenir. On ne peut encore donner d'appréciations sur le coût comparé de l'entretien; toutefois, après quinze mois de service, les tiroirs et pistons des machines 1122 et 1121 étaient encore en parfait état.

Il est intéressant de signaler que les locomotives Compound ont donné plus d'économie par rapport aux machines ordinaires marchant à 12 kilo-

1. Un dessin de ces machines a été donné dans l'*Engineer* du 31 août 1883.

grammes que par rapport aux machines ordinaires ne fonctionnant qu'à 9; il semble en résulter que l'emploi des pressions élevées ne donne pas d'avantage en pratique avec les machines à fonctionnement ordinaire; ce point commence à être admis par des ingénieurs qui se sont signalés à l'origine par leur hostilité contre le système Compound.

En somme, si on se reporte aux faits que nous avons signalés à diverses reprises depuis quelques années, et notamment aux résultats obtenus par notre collègue M. Borodine (année 1883, I, page 162), on devra bien admettre que la concordance de résultats obtenus par des expérimentateurs différents sur des machines de constructeurs différents, a bien une signification dont on doit finir par tenir compte.

A la suite de ces essais, les chemins de l'État de Hanovre ont commandé un certain nombre de machines à marchandises de ce type. Ces machines sont construites par la Société hanovrienne, anciens ateliers Egestorf à Linden, près Hanovre.

Nous avons parlé dans nos chroniques de juin et décembre 1880 des petites machines Compound pour service omnibus des chemins de fer de l'État de Hanovre. La maison Henschel vient de livrer une commande, faite par la même administration, de dix machines du même type, mais un peu plus fortes, destinées au même service.

Ces machines ont deux essieux, l'un porteur à l'avant, l'autre moteur à l'arrière. Bien que ces deux essieux ne soient pas accouplés, les roues sont de même diamètre. Les cylindres sont extérieurs et placés immédiatement en arrière des roues d'avant; la distribution est du type Walschaerts (Heusinger de Waldegg pour les Allemands). Les longerons sont intérieurs et comprennent entre eux la caisse à eau qui se prolonge en avant de la boîte à fumée.

Voici les dimensions principales de ce type établi comme le précédent sur les plans de M. von Borries :

Diamètre du grand cylindre (gauche).	0^{m},410
Diamètre du petit cylindre (droite).	0^{m},270
Rapport des volumes des cylindres.	2.3
Course des pistons.	0^{m},420
Diamètre des roues.	1^{m},130
Nombre des tubes à fumée.	114
Diamètre extérieur des tubes à fumée.	0^{m},046
Longueur entre les plaques tubulaires.	2^{m},067
Diamètre moyen du corps cylindrique.	1^{m},024
Hauteur de l'axe du corps cylindrique au-dessus des rails.	1^{m},860
Longueur du foyer.	0^{m},780
Surface de chauffe des tubes.	30^{m},80
Surface de chauffe directe.	3^{m},65
Surface de chauffe totale.	34^{m},45
Surface de grille.	0^{m},80

Pression effective à la chaudière	12^k
Longueur hors traverses (sans les tampons)	5^m,10
Hauteur du parquet au-dessus des rails	1^m,220
Écartement des essieux	3^m,500
Capacité de la caisse à eau	2^m,400
Capacité des soutes à charbon	850^k
Poids de la machine vide	15,150^k
Charge exercée sur les rails par l'essieu d'avant en service	9,400^k
Charge exercée sur les rails par l'essieu d'arrière en service	10,600^k
Poids total de la machine en service	20,000^k

Ces machines traînent à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure sur niveau des trains de 4 à 6 voitures à voyageurs légères. La consommation ne paraît pas dépasser jusqu'ici 3 kilogrammes par kilomètre.

Enfin la même administration de chemins de fer vient de commander, également à la Société hanovrienne, quatre machines express du système Compound.

Ces machines à trois essieux, dont deux accouplés, sont d'un type qui rappelle les machines express de l'Est, du Midi et du Grand Central Belge. Les cylindres sont extérieurs et disposés entre l'essieu porteur d'avant et l'essieu accouplé du milieu.

Voici les principales dimensions :

Diamètre du grand cylindre	0^m,600
» petit »	0^m,420
Rapport des volumes des cylindres	2^m,04
Course des pistons	0^m,580
Diamètre des roues accouplées	1^m,860
Nombre de tubes	171
Diamètre extérieur	0^m,050
Longueur entre plaques tubulaires	3^m,600
Surface de grille	1^m,75
Surface de chauffe totale	98^m
Pression effective à la chaudière	12^k
Poids total en service	38,000^k
Poids adhérent	26,000^k

La construction de ces machines étend à la totalité des types de locomotives des chemins de fer de l'état de Hanovre l'application du système Compound.

L'établissement Schichau, d'Elbing. qui avait fait les premières locomotives omnibus dont nous avons parlé, a construit, aussi depuis, un certain nombre de machines du même genre dont un spécimen figurait l'année

dernière à l'exposition d'Amsterdam; un dessin en a été publié dans le journal *Engineering* du 12 octobre 1883.

Enfin la question des locomotives Compound vient de faire en Angleterre un pas nouveau et important. M. Worsdell, *Locomotive superintendent* du Great Eastern Railway, a pensé aussi qu'on pouvait faire une machine Compound à grande vitesse sans sortir des dispositions ordinaires des locomotives et sans tomber dans les complications et les inconvénients du type Webb. Il a donc pris tout simplement le type à deux cylindres avec des diamètres de 18 et 26 pouces (0m,457 et 0m,661), donnant un rapport de volume de 2m,08, et une course de 0m,610. Les quatre roues accouplées ont 2m,130 de diamètre.

Il y a à l'avant un bogie à quatre roues au lieu de l'essieu porteur à glissière courbe du modèle ordinaire du Great Eastern, lequel ressemble d'ailleurs beaucoup au type de machine ordinaire de M. Webb. Cette machine paraît avoir donné d'excellents résultats, notamment une économie de combustible d'environ 15 pour 100 par rapport aux machines du même type mais à cylindres égaux. Aussi M. Worsdell a-t-il mis en construction dix machines de ce modèle, lesquelles entreront prochainement en service.

Cette dernière application nous paraît particulièrement intéressante en ce qu'elle démontre qu'il n'y a aucune difficulté à employer le type Compound à deux cylindres pour les machines à grande vitesse, ce qui était contesté, on ne sait trop pourquoi, par quelques ingénieurs, notamment par M. Webb (Voir chronique d'août 1883, page 249).

Distribution dans les machines Compound. — On sait que dans les machines Compound à réservoir intermédiaire il y a nécessité de donner aux deux cylindres des admissions convenables pour ne pas exagérer d'une part la chute de pression entre les deux cylindres et de l'autre la différence du travail produit par chacun de ces organes. Il n'y a pas grande difficulté lorsque la détente est fixe, mais lorsqu'elle est variable, il faut prendre des précautions spéciales; aussi voit-on fréquemment disposer sur le grand cylindre des moyens de varier l'introduction. On commence, dans les grandes machines des paquebots transatlantiques, à rendre le point d'attache des bielles de suspension des coulisses variable sur le levier correspondant.

L'influence de l'admission au grand cylindre sur le travail produit par cet organe a été mise en évidence par une série intéressante d'essais faits aux États-Unis, et que nous trouvons dans l'*American Engineer*.

La machine soumise aux expériences avait des cylindres de 0m,762 et 0m,342 de diamètre avec 1m,370 de course. Les deux manivelles étaient à angle droit. Le point d'attache des bielles de suspension de la coulisse du grand cylindre pouvait se déplacer dans une rainure pratiquée dans le levier de relevage au moyen d'une vis de rappel, de manière à permettre de donner au grand cylindre des introductions différentes sans changer celles du petit cylindre.

On a ainsi relevé un certain nombre de courbes d'indicateur que nous regrettons de ne pouvoir reproduire, et pour lesquelles nous renvoyons au journal susmentionné.

Voici le tableau des résultats obtenus :

DÉSIGNATION	DIAGRAMME 1	DIAGRAMME 2	DIAGRAMME 3	DIAGRAMME 4
Pression initiale	4k,80	4k,80	4k,80	4k,80
Introduction au petit cylindre	0,5	0,5	0,5	0,5
Nombre de tours par minute	60	60	60	60
Pression effective au réservoir intermédiaire	0,35	0,50	0,57	0,70
Vide	0m,622	0m,622	0m,635	0m,635
Position du point d'attache de la coulisse du grand cylindre	extrême »	25 m/m de l'extrémité	50 m/m de l'extrémité	75 m/m de l'extrémité
Travail indiqué au petit cylindre	424,6ch	413,7ch	393,4ch	370,2ch
Travail indiqué au grand cylindre	322,4	337,3	372,8	413,7
Totaux	747,0ch	751,0ch	766,2ch	783,9ch

On voit que la réduction de l'introduction au grand cylindre a constamment eu pour effet d'augmenter la pression initiale à ce cylindre et par suite son travail, en réduisant le travail du petit cylindre. Il en est résulté un accroissement du travail total qui a été jusqu'à 5 pour 100 pour une même dépense de vapeur, le volume d'admission au petit cylindre n'étant pas modifié, mais à la condition d'une légère inégalité de travail entre les deux cylindres.

Ventilation des mines à grisou. — Notre collègue, M. Félix Brabant, a adressé à la Société une brochure intitulée « *Les variations atmosphériques et la ventilation des mines à grisou* » qui traite une question d'un ordre assez important pour qu'il nous paraisse utile d'en faire connaître les points principaux.

Le danger du grisou est tel et les conséquences des explosions si graves qu'on ne saurait trop négliger d'étudier tout ce qui se rapporte à ce sujet.

L'auteur prend une mine ventilée par un ventilateur centrifuge et recherche l'influence de la variation de la pression atmosphérique; il

démontre que, contrairement à ce qu'on admet généralement, les variations de la pression atmosphérique sont plus grandes dans une mine qu'à la surface et d'autant plus que les mines sont plus profondes ; il pose également ce second principe que, presque toujours, sinon toujours, il y a une relation entre la température dans l'atmosphère et celle de l'air de la mine ; l'action régulatrice, due à la température des roches et aux combustions, se produisant toujours, la variation dans la mine sera moins considérable que dans l'atmosphère.

L'auteur examine ensuite l'influence de l'état hygrométrique qu'il trouve insensible en pratique et celle du vent sur l'orifice d'échappement ; cette dernière peut être rendue négligeable par l'emploi de précautions convenables.

L'effet des dépressions atmosphériques est principalement de dégager les gaz contenus dans les roches des houillères et dans les vieux travaux. L'état dans lequel le grisou existe dans les roches et la manière dont il en sort, sont des questions encore très discutées aujourd'hui ; on a été jusqu'à supposer qu'il peut exister à l'état liquide ou même solide ; quoi qu'il en soit, il paraît assez vraisemblable qu'il existe des variétés de grisou, au moins deux, l'un le grisou ordinaire, l'autre le grisou *vif ;* la puissance explosive de ce dernier est de beaucoup plus considérable.

L'examen de toutes ces questions amène M. Brabant à formuler des conclusions qui forment une partie intitulée *Conséquences pratiques.* Nous citerons parmi ces conclusions celles qui sont relatives à l'état hygrométrique et à l'action du vent, point que nous avons déjà signalé, les dispositions de l'échappement d'air qui s'y rapportent, l'action de la température, la corrélation des dépressions atmosphériques et de l'apparition du grisou, la détermination de la pression du grisou dans les roches et de la constitution physique de celles-ci, ainsi que les conséquences à en tirer, puis la manière de procéder pour augmenter les dépressions sans danger, le développement des chantiers dans l'exploitation, le volume d'aérage nécessaire pour annuler les influences atmosphériques, l'aménagement des remblais et l'assainissement des mines, etc.

On ne saurait trop insister sur l'utilité d'études du genre de celle de notre collègue, lorsqu'on considère le nombre des points obscurs qui restent encore dans des questions qui ont pourtant été déjà bien travaillées et dont l'importance est si capitale au point de vue de la vie des milliers d'ouvriers employés dans l'industrie houillère.

Adhérence des câbles métalliques sur les poulies à gorge. — On a récemment essayé dans une houillère de Westphalie de remplacer les tambours sur lesquels s'enroulent les câbles d'extraction par des poulies à gorge placées directement au-dessus du puits et sur lesquelles adhère par frottement le câble portant les cages sur ses deux brins, qui peuvent d'ailleurs être reliés de manière à former câble sans fin.

Si on appelle P le poids de la moitié du câble augmenté de celui de la

cage vide (y compris celui des berlines vides) et Q le poids de la moitié du câble, plus le poids de la cage chargée, il faudra réaliser la condition.

$$Q - P = \mu (Q + P)$$

Pour trouver les valeurs de μ coefficient de frottement entre le câble et la poulie, M. Baumann a fait un grand nombre d'expériences dont le résultat est consigné dans un travail inséré dans le *Zeitschrift für das Berg-Hutten und Salinen Wesen im Preussichen Staate.*

Ces expériences ont été faites avec des câbles de fer et d'acier vieux ou neufs portant sur des poulies dont les gorges étaient nues ou garnies en bois ou en cuir. Le tableau ci-dessous donne les diverses valeurs obtenues pour le coefficient μ.

DIAMÈTRE.	CABLE. MATIÈRE.	DIAMÈTRE.	POULIE. NATURE DE LA GORGE.	NOMBRE D'ESSAIS.	$\mu =$
m/m		m c			
16	Acier (vieux)..........	2 20	Bois de chêne.........	14	0,303
»	—	4 40	—	79	0,258
18	—	»	—	66	0,215
20	Fer (neuf)	»	—	21	0,280
»	Fer (vieux)..........	»	—	80	0,246
32	—	»	—	32	0,197
			A.........	292	0,242
16	Acier (vieux)..........	3 20	Cuir à plat...........	37	0,277
18	—	»	—	46	0,244
20	Fer (neuf)	»	—	52	0,253
»	Fer (vieux)..........	»	—	20	0,230
32	—	»	—	52	0,234
			B.........	207	0,248
16	Acier (vieux)..........	3 20	Cuir de champ........	19	0,281
18	—	»	—	14	0,267
20	Fer (neuf)	»	—	15	0,269
»	Fer (vieux)..........	»	—	24	0,228
32	—	»	—	17	0,248
			C.........	89	0,256
15	Fer (vieux)..........	1 60	Fonte	99	0,227
21	—	»	—	50	0,209
26	Acier (vieux)..........	»	—	129	0,182
			D.........	278	0,203
	Moyenne de toutes les expériences.......			866	0,232

On voit, d'après ce tableau, que le frottement est le plus faible sur la

fonte; il est un peu plus élevé sur le cuir, notamment lorsque celui-ci est disposé de champ. Le coefficient μ diminue quand le diamètre de la poulie augmente (probablement parce que les câbles de plus faible diamètre s'impriment en quelque sorte sur la gorge) et quand la charge augmente (sans doute parce que l'influence de la raideur du câble est moindre pour les charges plus faibles).

Lorsque les essais se succèdent rapidement, le frottement est moindre qu'après une interruption un peu prolongée.

On pourra, dans la pratique, prendre des chiffres égaux ou même supérieurs aux moyennes trouvées plus haut parce qu'on ne rencontre pas les circonstances défavorables des essais; ainsi on pourra adopter les coefficients suivants :

Câble en fer sur fonte	μ	=	0,20
— chêne	»	=	0,24
— cuir	»	=	0,25

En somme, on a trouvé qu'un arc égal à la demi-circonférence donne assez d'adhérence avec des poulies garnies de bois ou de cuir pour permettre l'extraction à toute profondeur; avec des poulies à gorge en fonte nue, il faudrait un arc un peu plus grand, on l'obtient avec des galets qui infléchissent les deux brins du câble. On a admis pour cela que le rapport du poids brut au poids utile était de 1,5 en moyenne.

Nous avons pensé qu'en dehors de la question de l'extraction dans les mines, les renseignements ci-dessus présentaient de l'intérêt pour diverses applications des câbles métalliques.

Expansion dans les machines marines. — Dans le tableau annexé à l'article donné sous ce titre dans la Chronique de septembre. page 293, la cinquième colonne, expansion totale, donne pour les navires *Normandie*, *Czar*, et *Moor*, le chiffre 2; c'est une erreur d'impression, il devait y avoir un point d'interrogation (?) pour indiquer que, le système de détente variable appliqué au petit cylindre ne permettant pas de connaître *a priori* l'admission minima à ce cylindre, le degré maximum d'expansion auquel pouvait fonctionner l'appareil restait indéterminé.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

SEPTEMBRE 1884.

Rapport de M. REDIER sur la **Pendule atmosphérique destinée à l'observatoire de Marseille**, construite par M. FENON, horloger à Paris.

Cette pendule, d'une exécution très remarquable, comprend :

Un rouage môteur portant les aiguilles ;

Un échappement transmettant la force motrice au pendule;

Une pendule à secondes ;

Enfin un mécanisme d'interrupteur électrique, destiné, soit à marquer chaque oscillation sur le cylindre d'un chronographe, soit à établir le synchronisme entre la pendule directrice et une ou plusieurs autres pendules placées sur un même circuit.

La description de cet appareil comprend plusieurs pages et trois planches ; nous nous contenterons d'indiquer comme particularités principales le compensateur formé de mercure contenu dans deux récipients en acier, l'interrupteur électrique d'une disposition appartenant en entier à M. Fenon, un relais également de son invention.

Les résultats obtenus ont été remarquables ; l'écart signalé au bout de plus de six mois de marche atteint à peine quelques centièmes de seconde, écart si faible qu'on peut être tenté de l'attribuer à l'erreur personnelle de l'observateur.

Rapport de M. DAVANNE sur le procédé présenté sous le nom de **photocalque**, par M. CHEYSSON, directeur des cartes et plans au ministère des travaux publics.

Il arrive fréquemment qu'on ait à faire des modifications à des cartes ou plans déjà existants. On les fait souvent sur le plan primitif, ce qui a des inconvénients, ou bien on les fait sur un calque, ce qui nuit à l'exactitude du tracé.

Au ministère des travaux publics, on opère comme suit. On fait une épreuve photographique du plan primitif, on la fixe à l'hyposulfite de soude sans virage à l'or, Lorsqu'elle est sèche, on dessine à l'encre de Chine sur cette épreuve les modifications à introduire au tracé, puis on détruit la photographie au moyen d'un réactif sans action sur le dessin, réactifs dont il existe un grand nombre ; on emploie de préférence une solution de cyanure de potassium contenant de l'iode.

On peut opérer sur le papier au ferro-prussiate avec lequel on prépare les bleus dans les bureaux de dessin et les ateliers ; il est facile de faire disparaître après toute trace du dessin primitif par un lavage dans des bains de potasse, carbonate de potasse, acide oxalique, etc., lesquels n'ont pas d'effet sur l'encre de Chine avec laquelle ont été tracées les modifications. Si on emploie de l'encre autographique au lieu d'encre de Chine, on peut transformer avec la plus grande facilité un dessin en bleu en cliché destiné à l'autographie.

Rapport de M. Roy sur une **proposition de loi relative aux fraudes, tendant à faire passer pour français des produits fabriqués à l'étranger ou en provenant.**

Rapport de M. Lavalard sur un mémoire de M. Orry, relatif à **l'alimentation des bêtes à cornes.**

Ce travail qui a pour objet l'alimentation des animaux de l'espèce bovine par les résidus de distillerie et les pulpes de sucreries a pour point de départ des observations suivies, faites dans le domaine de Salzmünde, en Allemagne.

L'abondance des sels minéraux dans les résidus, sels qui sont principalement des sulfates dont l'action est laxative, est un inconvénient grave parce qu'il entraîne pour les animaux un dérangement des organes digestifs. En remplaçant, dans le traitement des mélasses, l'acide sulfurique par l'acide chlorhydrique, on donne naissance à des chlorures dont l'effet est beaucoup moins nuisible.

Le mémoire de M. Orry, à côté des améliorations du même genre qu'il indique, contient un ensemble d'observations pleines d'intérêt et qui ont le mérite d'avoir été relevées sur une exploitation agricole d'une importance très considérable.

Discours prononcé par M. Fremy, membre de l'Institut, aux obsèques de M. P. Thenard.

Notice nécrologique sur le **baron Paul Thenard**, par M. A. Rommier.

Rôle historique de la **découverte de la soude artificielle** extraite du sel marin, par M. Dumas.



Progrès de l'électricité. — Cet article est l'analyse de trois conférences faites à la *Society of Arts*, de Londres, par M. le professeur S. Thompson, M. William H. Preece et M. Isaac Probert.

Ammoniaque et goudron, notice résumée du journal de l'*Iron and Steel Institute*.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Octobre 1884.

Mémoire sur le **tracé des courbes de pression** dans les voûtes, par M. Lavoinne, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'auteur rappelle que, si c'est par le tracé des courbes de pression qu'on se rend compte de la stabilité des voûtes, comme les conditions tirées de l'équilibre sont insuffisantes pour déterminer ce tracé, on se borne le plus souvent à apprécier le degré de stabilité de la voûte par l'écartement des courbes limites des courbes de pression tracées à l'intérieur de la voûte; cette méthode laisse la question de stabilité incomplètement résolue.

On peut se faire une idée plus rationnelle de la courbe des pressions par des considérations tirées de l'ensemble des déformations des voussoirs et du rôle que joue, dans ces déformations, leur compressibilité propre, à la condition de faire diverses hypothèses qu'une construction soignée de la voûte permet de réaliser d'une manière plus ou moins complète.

Ces hypothèses sont la consistance suffisante des joints de mortier et par suite leur compressibilité uniforme, le commencement des déformations à partir seulement du moment où le décintrement abandonne la voûte à l'action de la pesanteur, l'action de déformation telle que chaque joint reste plan, les contractions élémentaires, comme les réactions qui leur correspondent en chaque point de la surface d'un joint, variant suivant la loi du trapèze.

On écarte les variations de température ainsi que l'hypothèse d'un calage qnelconque, de sorte qu'il n'y a, entre les voussoirs élémentaires, d'autres réactions que celles qui sont dues à la pesanteur au moment du décintrement.

L'auteur part de ces hypothèses pour établir des formules dont il fait l'application au cas de la voûte en arc de cercle extradossée parallèlement; il examine ensuite le cas d'une charge uniformément répartie sur la projection de l'arc, celle d'une charge sur les tympans, l'influence des mouvements éprouvés par la partie inférieure de la voûte et par les culées, les

voûtes d'épaisseur variable, le cas particulier où la courbe de pression sort du noyau central, l'hypothèse d'une variation continue dans l'élasticité des voussoirs, l'effet produit par des charges isolées symétriques, l'examen des principales circonstances qui influent sur la stabilité des voûtes, telles que le passage de la courbe des pressions au-dessus de l'axe moyen vers les naissances et son rapprochement de l'extrados au delà des naissances, et le tassement des voussoirs entre l'angle d'équilibre stable et les naissances.

Suivent les applications à la détermination des courbes de pression et de leurs variations dans une voûte donnée et à la détermination d'une voûte d'intrados ou d'axe moyen donné de manière à en assurer l'équilibre dans de bonnes conditions d'économie.

L'auteur fait remarquer, comme conclusion, que les formules auxquelles il arrive seraient d'une application en quelque sorte rigoureuse pour la construction des arcs métalliques où l'on peut compter beaucoup plus que pour les arches en maçonnerie sur l'homogénéité et l'élasticité des matériaux, à la condition de réaliser la fixité de direction des coussinets de retombée des arcs par des moyens convenablement appropriés à ce système de construction.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 48. — 29 *Novembre* 1884.

État actuel de l'industrie des matières tinctoriales, par C. Engler.

Machine Compound marine de 750 chevaux.

Chemins de fer d'intérêt local et chemins de fer sur routes; locomotives.

Groupe de Hesse. — Fabrique de produits chimiques et de matières tinctoriales de Gerhardt et fils et fabrique de produits chimiques du Dr Marquart, à Bettenhausen; fabrique de ciment de Portland, à Trubenhausen.

Groupe du Rhin inférieur. — Union pour la protection de la propriété industrielle. — Éclairage au gaz d'huile. — Alliages et soudures.

Groupe du Palatinat et de Saarbruck.

Patentes.

Bibliographie. — Expériences sur le fonctionnement et la résistance des clapets, de C. Bach.

Correspondance. — Machines de laminoirs avec distribution de précision. — Principes et conduite des expériences sur les chaudières et machines à vapeur.

N° 49. — 6 *Décembre* 1884.

État actuel de l'industrie des matières tinctoriales, par C. Engler (*fin*).
Machine à percer double horizontale construite par la fabrique de machines-outils précédemment Sonderman et Steer, à Chemnitz.
Distribution à tiroirs et soupapes, patente Rensing.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Appareils de dilatation dans les conduites.

Groupe de Cologne.

Groupe de Poméranie. — Frein Carpenter.

Association des chemins de fer. — Ruptures de bandages. — Matériel roulant des chemins de fer siciliens. — Chemin de fer au Congo. — Appareils de contact pour rails.

Patentes.

Bibliographie. — Ouvrages adressés à la Société.

Correspondance. — Fabrication du coke avec dispositions pour recueillir les sous-produits.

Variétés. — Lancements et essais de navires. — Prix proposés par l'Association pour l'encouragement de l'industrie. — Prix proposé pour l'utilisation des déchets de graphite. — Question de mécanique industrielle. — Système métrique des poids et mesures. — Musée de Mulhouse. — Fumée des cheminées. — Résistance des divers métaux au passage d'un courant électrique. — Guerre maritime. — Production d'acier Bessemer de la Grande-Bretagne.

N° 50. — 13 *Décembre* 1884.

Compte rendu de la réunion générale de l'Association, à Manheim (*fin*).
Prise des gaz des hauts fourneaux spécialement au point de vue de leur utilisation, par C. Th. Jung.
L'industrie de Manheim et de ses environs, par L. Post.

Groupe de Hanovre. — Navigation intérieure en Allemagne. — Prix de revient des transports par canaux et par chemins de fer. — Expériences sur une locomotive du système Honigmann. — Appareil Hollmann pour cordon de tirage des indicateurs.

Patentes.

Bibliographie. — Traction souterraine par câbles métalliques dans les houillères, de W. Hildenbrand.

Correspondance. — Balances à suspension par lames flexibles de Weber.

N° 51. — 20 *Décembre* 1884.

Exposition de machines à coudre allemandes, à Hanovre, par Ernst Müller.

L'industrie de Manheim et de ses environs, par L. Post (*fin*).

Métallurgie. — Construction en fer des parties inférieures des hauts fourneaux.

Groupe de Berlin. — Embrayages à friction. — Poulies en deux pièces pour courroies.

Patentes.

Bibliographie. — Aide-mémoire pour constructions navales. — Ouvrages adressés à la Société.

Correspondance. — Machines de laminoirs avec distribution de précision.

Variétés. — Origine des dépôts de sels gemme. — Pistons plongeurs avec revêtement en cuivre. — Jaugeage des petits cours d'eau par la mesure de la température. — Vitesse des trains de chemins de fer en Angleterre et en Allemagne. — Concurrence en télégraphie. — Personnel du service des patentes en Angleterre.

N° 52. — 27 *Décembre* 1884.

Réponse du Ministre des travaux publics de Berlin à la requête des Associations pour les ateliers d'enseignement.

Prise de gaz des hauts fourneaux spécialement au point de vue de leur utilisation, par C. Th. Jung (*fin*).

Groupe de Berlin. — Avertisseurs d'incendie.

Patentes.

Variétés. — Coup d'œil sur la construction des chemins de fer, la production de fer et des rails, le prix des matières, l'émigration, etc., aux États-Unis, de 1860 à 1883.

Table des matières de l'année 1884.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. Mallet.

TABLE DES MATIÈRES

Traitées dans la Chronique de 1884.

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME SEMESTRE — ANNÉE 1884

PARIS. — IMP. E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

D

I

